



**ИФЗ·РАН**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта  
Российской академии наук

**Научная конференция молодых ученых и аспирантов  
ИФЗ РАН**

**8-9 ноября 2023 года**

**Тезисы докладов**

Москва – 2023

УДК 55  
ББК 26.3я43  
Н34

Н34 Научная конференция молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН: Тезисы докладов. Москва, ИФЗ РАН, 8-9 ноября 2023 г. М.: ИФЗ РАН, 2023 – 72 с.

ISBN 978-591682-070-6

В сборнике публикуются тезисы докладов Научной конференции молодых ученых и аспирантов ИФЗ РАН, которая состоялась 8-9 ноября 2023 г. в Институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Москва. Представлены результаты научных исследований по геофизике и смежным областям наук о Земле (геология, геодезия, геоэкология), полученные при участии молодых ученых, аспирантов и студентов.

This issue contains abstracts of the Scientific Conference of Young Scientists and PhD students of the IPE RAS, which held at the Schmidt Institute of Physics of the Earth Russian Academy of Sciences, Moscow (November 8-9, 2023). The results of scientific research in geophysics and related fields of Earth sciences (geology, geodesy, geoecology) obtained with the participation of young scientists, graduate students and students are presented.

Ответственный редактор:  
д.г.-м.н. Р.В. Веселовский

Редактор: к.г.-м.н. А.М. Фетисова, С.А. Фурсова

*Оргкомитет Конференции***Председатель оргкомитета конференции:**

Веселовский Р.В. - заместитель директора ИФЗ РАН по научной работе, профессор РАН, д.г.-м.н.

**Заместитель председателя оргкомитета конференции:**

Фетисова А.М. - инженер лаборатории 105, к.г.-м.н.

**Члены оргкомитета:**

Лиходеев Д.В. - учёный секретарь ИФЗ РАН, к.ф.-м.н., учёный секретарь конференции

Киреева А.А. - руководитель департамента по связям с общественностью

Стрельников А.А. - научный сотрудник лаборатории 304

Фурсова С.А. – инженер лаб. №205

*Программный комитет Конференции***Председатель Программного комитета Конференции:**

Тихоцкий С.А. - директор ИФЗ РАН, чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.

**Заместитель председателя программного комитета конференции:**

Веселовский Р.В. - заместитель директора ИФЗ РАН по научной работе, профессор РАН, д.г.-м.н.

**Члены программного комитета:**

Собисевич А.Л. - заместитель директора ИФЗ РАН по научной работе, чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.

Камзолкин В.А. - заместитель директора ИФЗ РАН по научной работе, к.г.-м.н.

Татевосян Р.Э. - заместитель директора по вопросам инженерной сейсмологии и оценке сейсмической опасности, д.ф.-м.н.

Анисимов С.В. - директор ГО "Борок", д.ф.-м.н.

Пономарёв А.В. - руководитель научного направления "Физика сейсмического процесса и горных пород", д.ф.-м.н.

Конешов В.Н. - руководитель научного направления "Потенциальные поля", д.т.н.

Лиходеев Д.В. - учёный секретарь ИФЗ РАН, к.ф.-м.н.

Павлов В.Э. - заведующий лабораторией 105, д.ф.-м.н.

Овсяченко А.Н. - заведующий лабораторией 701, к.г.-м.н.

Дубиня Н.В. - с.н.с. лаборатории 202, к.ф.-м.н.

Жостков Р.А. - с.н.с. лаборатории 703, к.ф.-м.н.

Казначеев П.А. - с.н.с. лаборатории 301, к.т.н.

Маринин А.В. - с.н.с. лаборатории 204, к.г.-м.н.

**Ученый секретарь конференции:**

Лиходеев Д.В. - ученый секретарь ИФЗ РАН, к.ф.-м.н.

*Тезисы докладов*

*Научной конференции молодых учёных и аспирантов ИФЗ РАН*

*8-9 ноября 2023 г., ИФЗ РАН, Москва*

**Оглавление:**

Организационный и Программный комитеты Конференции .....	3
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИИ МАНТИИ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ ПРИЛИВНЫХ ЧИСЕЛ ЛЯВА <b>Amorim D.O., Гудкова Т.В.</b> .....	10
СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОДНОГО МАССИВА ПРИ ЗАХОРОНЕНИИ ВЫСОКОАКТИВНЫХ РАО <b>Акматов Д.Ж.</b> .....	11
ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ НА АКВАТОРИИ ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА <b>Алёшин М.И., Беляев П.Ю., Миринец А.К., Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю.</b> .....	12
СКОРОСТНОЙ РАЗРЕЗ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ОРЕНБУРГСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ ПО ФУНКЦИИ ПРИЁМНИКА Р-ВОЛН <b>Астаскевич А.И., Алёшин И.М., Гоев А.Г., Нестеренко М.Ю.</b> .....	13
РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ САМОСОГЛАСОВАНИЯ <b>Бахмач М.М.</b> .....	14
РАСЧЕТ ЧИСЕЛ ЛЯВА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ЛУНЫ <b>Белкова Е.А., Гудкова Т.В.</b> .....	15
СТАТИСТИЧЕСКАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ МАГНИТУДЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЛНИЙ. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ <b>Бондаренко А. М., Ягова Н. В., Макаров Е. О.</b> .....	16
РЕКОНСТРУКЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В БОРТАХ ИМАНДРА-КОЛВИЦКОГО РАЗЛОМА В РАЙОНЕ ОЗ. СРЕДНЕЕ ЛУВЕНЬГСКОЕ (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ) <b>Бондарь И.В., Королева А.О.</b> .....	17
ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ СОБЫТИЙ В ИНТЕРЕСАХ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ <b>Буров В. А., Кондратов А. Д., Очелков Ю. П., Холодков К. И.</b> .....	18
АНАЛИЗ МОДЕЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ЗОНАХ НАКЛОННЫХ РАЗДВИГОВ <b>Васильев А.Н.</b> .....	19
КОМБИНИРОВАННАЯ ИНВЕРСИЯ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ПРИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ <b>Верин Ф.С., Тихоцкий С.А.</b> .....	20
ВТОРИЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КАЛЬЦИТА СПЕЛЕОТЕМА «VOR» И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПАЛЕОМАГНИТНУЮ ЗАПИСЬ <b>Гаврюшкин Д.А., Маслобоева А.Е., Максимов Ф.Е., Веселовский Р.В., Ершова В.Б.</b> .....	21

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАЛЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ТЕКТОНОФИЗИКЕ <i>Гордеев Н.А.</i> .....	22
ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОМАГНИТНОГО ИЗУЧЕНИЯ ОПОРНОГО РАЗРЕЗА ЛЕССОВО- ПОЧВЕННЫХ СЕРИЙ «ОТКАЗНОЕ» (СТАВРОПОЛЬСКИЙ КРАЙ) <i>Дуданова В.И., Константинов Е.А.</i> .....	23
ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В СЛОИСТЫХ ПЛАВНО НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ <i>Жарков Д.А., Жостков Р.А.</i> .....	24
ГЕОМАГНИТНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ РС5 ДИАПАЗОНА И ПОТОКИ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЯМИ ПОРЯДКА 100 КЭВ ВО ВНЕШНЕЙ МАГНИТОСФЕРЕ <i>Зворыгина Е.С., Ягова Н. В.</i> .....	25
ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИ СТИМУЛИРОВАННОГО РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД РАЗНЫХ ТИПОВ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИКИ ИМПУЛЬСОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ И МИКРОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА <i>Индаков Г.С., Казначеев П.А., Майбук З.-Ю.Я., Пономарев А.В., Матвеев М.А., Морозов Ю.А.</i> 26	
НОВЫЕ СИНХРОННЫЕ МТ ЗОНДИРОВАНИЯ НА ВОСТОКЕ ФЕННОСКАНДИИ: ПРОФИЛИ ПСКОВ - ВАЛДАЙ И ВЕЛИКИЕ ЛУКИ - ПОРХОВ <i>Ионичева А.П., Варенцов Ив.М., Куликов В.А., Родина Т.А., Лозовский И.Н., Шагарова Н.М., Ширяев М.И., Яковлев А.Г.</i> .....	27
КОНТРОЛЬ ИЗМЕНЧИВОСТИ СВОЙСТВ КЕРНА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ ПРИ ПОМОЩИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА <i>Калинина М.С., Попов Ю.А., Чехонин Е.М.</i> .....	28
ОЦЕНКИ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА РАДОНА И ИНТЕНСИВНОСТИ ИОНООБРАЗОВАНИЯ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ <i>Климанова Е. В, Анисимов С. В., Галиченко С. В., Афиногенов К. В.</i> .....	29
МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПОЛЕВОГО СЕЗОНА 2023 ГОДА <i>Козьмина А.С., Климанова Е. В., Гурьев А. В., Галиченко С. В., Анисимов С. В., Ильин Н. В.</i> ....	30
МОДЕЛЬ ПОВЕРХНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ “ЧИГНИК” 29.07.2021 MW = 8.2 ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ РАДАРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ, ГНСС И СЕЙСМОЛОГИИ <i>Конвисар А.М., Михайлов В.О., Волкова М.С., Смирнов В.Б.</i> .....	31
ОБНАРУЖЕНИЕ РАЗРЫВНЫХ СТРУКТУР ФУНДАМЕНТА В ЮЖНОЙ ЧАСТИ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА ПРИ ПОМОЩИ ГЕОРАДАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ КОРРЕЛЯЦИЯ С ЧЕТВЕРТИЧНЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ (НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА СРЕДНЕЕ ЛУВЕНЬГСКОЕ) <i>Королева А.О.</i> .....	32

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ТЕОРИИ ЭФФЕКТИВНЫХ СРЕД ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ УГЛЕВОДОРОДОВ ПО ДАННЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН <i>Корочкин Г.М.</i> .....	33
ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНОЙ ЧАСТИ КАМЧАТСКОГО ПОЛУОСТРОВА <i>Котов А.Н., Тощов С.А., Нуждаев И.А., Преснов Д.А.</i> .....	34
СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХУБСУГУЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ВПАДИНЫ В РАЙОНЕ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 12.01.2021, MW=6.7 (СЕВЕРНАЯ МОНГОЛИЯ) <i>Кошевой Н.Г., Овсяченко А.Н., Бутанаяв Ю.В.</i> .....	35
ИЗМЕРЕНИЕ УСКОРЕНИЙ В ШИРОКОМ АМПЛИТУДНОМ И ЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНАХ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ <i>Краюшкин Д.В., Казначеев П.А., Кох В.В., Майбук З.-Ю.Я., Пономарев А.В.</i> .....	36
МОДЕЛИРОВАНИЕ НАКЛОНОВ МОРСКОГО ДНА ДОННЫМИ ИНКЛИНОМЕТРАМИ (МЕСТОРОЖДЕНИЕ ИМ. В. ФИЛАНОВСКОГО) <i>Кузьмин Д.К.</i> .....	37
ПАЛЕОМАГНИТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАПИСИ ИНВЕРСИИ МАТУЯМА-БРЮНЕС В ЛЁССОВО-ПОЧВЕННЫХ СЕРИЯХ ТАДЖИКИСТАНА <i>Кулакова Е.П.</i> .....	38
ВЛИЯНИЕ НЕУПРУГОСТИ НА МОДЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЧАНДЛЕРОВСКОГО ПЕРИОДА МАРСА <i>Кулик Е.А., Гудкова Т.В.</i> .....	39
О ПРИМЕНЕНИИ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СКВАЖИННЫХ ИМИДЖАХ. <i>Куприн Д.Ю., Дубиня Н.В.</i> .....	40
ДЕШИФРИРОВАНИЕ ЗОН ДЕФОРМАЦИЙ ОСНОВАННЫЙ НА ДАННЫХ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ И КАРТ ВЫСОТ <i>Малышкин Т.Е., Гордеев Н.А.</i> .....	41
ВЛИЯНИЕ ЗАКАЧКИ ФЛЮИДА НА ЭВОЛЮЦИЮ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА <i>Малютин П.А.</i> .....	42
НОВЕЙШИЕ СТРУКТУРЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ГОРНОГО АЛТАЯ <i>Мануилова Е.А.</i> .....	43
СЕЙСМОРАЗВЕДКА КАК МЕТОД ОЦЕНКИ ПЛАСТИЧНОСТИ ГРУНТОВ В ЗАДАЧАХ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ <i>Марятов А.К., Алёшин А.С.</i> .....	44
ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАКОНА ПРОДУКТИВНОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ <i>Маточкина С. Д.</i> .....	45

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КРУПНОЙ ДАЙКИ НА НАПРЯЖЁННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕРХНЕЙ КОРЫ <i>Мягков Д.С., Ребецкий Ю.Л.</i> .....	46
АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ РЕКОНСТРУКЦИИ НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ДАННЫМ О ЕСТЕСТВЕННОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ <i>Новикова Е.В., Дубиня Н.В.</i> .....	47
АНАЛИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ АВО-СЕЙСМОГРАММ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПЕТРОУПРУГОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОРОД ДОМАНИКОВОЙ ФОРМАЦИИ <i>Окуневич В.С., Баяк И.О.</i> .....	48
ПРИМЕНЕНИЕ АТМОСФЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ GASOS К ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИМ ОЦЕНКАМ ПОЛЕЙ СМЕЩЕНИЙ: ВУЛКАНЫ КАМЧАТКИ <i>Османов Р.С., Волкова М.С., Михайлов В.О.</i> .....	49
НАСКОЛЬКО МАГНИТНА НЕМАГНИТНАЯ КОМНАТА? <i>Пасенко А.М., Минаев П.А., Кулакова Е.П.</i> .....	50
ОЧЕРЕДНОСТЬ ПРОЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ <i>Петрушов А.А., Смирнов В.Б.</i> .....	51
ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ПОРОД ДОМОДЕДОВСКОГО КАРЬЕРА <i>Пирогов М.В., Баяк И.О., Белобородов Д.Е., Краснова М.А., Багдасарян Т.Э.</i> .....	52
ТРЕХМЕРНАЯ ТОМОГРАФИЧЕСКАЯ СХЕМА СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТНО-ВОЛНОВОЙ ТОМОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛОСЧАТОГО БАЗИСА <i>Позднякова Д.Д.</i> .....	53
СВОЙСТВА ФОНОВОГО СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО ШУМА МОРСКОГО ЛЬДА АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА <i>Преснов Д.А.</i> .....	54
ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ИОНООБРАЗОВАНИЯ В НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЕ ГАММА-КВАНТАМИ ПОЧВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ “GEANT4” <i>Прохорчук А.А., Галиченко С.В., Анисимов С.В.</i> .....	55
ИССЛЕДОВАНИЕ ИДЕНТИЧНОСТИ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ НА АЛЕКСАНДРОВСКОМ ГЕОФИЗИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ <i>Родина Т.А., Варенцов И.М., Лозовский И.Н., Ионичева А.П.</i> .....	56
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УТЕЧЕК ФЛЮИДА И ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ПРОНИЦАЕМОСТИ И ПОРИСТОСТИ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ ПРИ НАГРУЖЕНИИ, ПРОВЕДЕННАЯ НА АЛЮМИНИЕВЫХ ОБРАЗЦАХ <i>Сергеев Д.С.</i> .....	57
ФИЛЬТРАЦИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ С УЧЕТОМ КАПИЛЛЯРНОЙ КОНДЕНСАЦИИ ФЛЮИДОВ В НАНОМАСШТАБНОЙ ПОРИСТОСТИ. <i>Сиразов Р.А., Нестерова И.С., Хлюпин А.Н., Герке К.М.</i> .....	58



МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА КРИСТАЛЛОВ ЦИРКОНА <i>Сорокин М.А., Мельник О.Э.</i> .....	59
ПАЛЕОСЕЙСМИЧНОСТЬ НАРЫНСКОЙ ОБЛАСТИ <i>Стрельников А.А.</i> .....	60
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ УНЧ/КНЧ ИЗЛУЧЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ ИЗВЕРЖЕНИЕМ ВУЛКАНА ТОНГА <i>Стуков Д.А., Пилипенко В.А.</i> .....	61
ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ПОРОД ДОМОДЕДОВСКОГО КАРЬЕРА <i>Томаровская М.А., Гордеев Н.А., Пирогов М.В.</i> .....	62
СПЕКТРАЛЬНО ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ДЛИТЕЛЬНЫХ РЯДОВ НАЗЕМНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ЗОНЕ АШХАБАДСКОГО РАЗЛОМА <i>Фаттахов Е.А.</i> .....	63
НЕОБЫЧАЙНО СИЛЬНОЕ ВОЗМУЩЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНОЙ БУРИ 5.04.2010 <i>Федулова Ю.А., Федоров Е.Н.</i> .....	64
МЕТОДИКА И ОПЫТ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ТРЁХМЕРНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ МЕСТ ПРОИСШЕСТВИЙ <i>Холодков К.И., Гуков А.А.</i> .....	65
ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА <i>Цховребов Т.А., Тихоцкий С.А.</i> .....	66
КОНЦЕПЦИЯ АТЛАСА МИКРОСТРУКТУР МАГНИТНЫХ МИНЕРАЛОВ И ПЕРВЫЕ ГЛАВЫ <i>Цельмович В.А., Чернышов С.П.</i> .....	67
НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ ИСТОЧНИКАХ СНОСА ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ПОГРАНИЧНОГО ПЕРМОТРИАСОВОГО РАЗРЕЗА БОЕВАЯ ГОРА (ОРЕНБУРГСКАЯ ОБЛАСТЬ) <i>Чистякова А.В., Веселовский Р.В.</i> .....	68
ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГНСС-ТЕХНОЛОГИЙ И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ <i>Шевчук Р.В.</i> .....	69
ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕЩЕР МЕТОДОМ ФОТОГРАММЕТРИИ <i>Щербаков В.М., Скрыпичина Т.Н., Фальков Д.Д., Уколова А.В.</i> .....	70
МОНИТОРИНГ ЗОН ПОВЫШЕННОГО ГАЗОНАСЫЩЕНИЯ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА ПО ДАННЫМ СЪЕМОК 3D ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ МОГТ РАЗНЫХ ЛЕТ. ШЕЛЬФ ЧЕРНОГО МОРЯ <i>Щуплов П.А., Пирогова А.С.</i> .....	71

# ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИИ МАНТИИ ЗЕМЛИ С ПОМОЩЬЮ ПРИЛИВНЫХ ЧИСЕЛ ЛЯВА

**Amorim D.O., Гудкова Т.В.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*МФТИ, Кафедра прикладной геофизики*

<sup>2</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория происхождения, внутреннего строения и динамики Земли и планет (102)*

Приливные числа Лява часто используются для исследования внутреннего строения планет и спутников в Солнечной системе - для различных моделей исследуемого тела вычисляются теоретические значения чисел Лява, а затем, сравниваются с измерениями космических аппаратов, чтобы определить наиболее вероятные модели [1]. Одна из сложностей таких задач заключается в том, что периоды приливного воздействия на много порядков превышают периоды сейсмических волн или собственных колебаний планет. Из-за этого необходимо учитывать вязкоупругость планетных недр при расчёте чисел Лява. Это выполняется путём внесения поправки к упругим значениям модуля сдвига с помощью конкретной реологической модели.

Экспериментами показано, что реология Андраде является подходящей для описания вязкоупругого поведения мантийных минералов при низких частотах [2,3]. Однако, она зависит от двух эмпирических параметров ( $\alpha$  и  $\zeta$ ), которые неизвестны в условиях мантии и ядра, и поэтому во многих работах авторы вынуждены применять большие интервалы значений этих параметров, что в свою очередь вызывает значительные неточности в рассчитанных значениях чисел Лява.

С целью решения данной проблемы, мы провели “калибровку” реологической модели Андраде на Земле с помощью данных о различных компонентах прилива с периодами от 12 часов до одного года. Числа Лява вычисляются для 12 периодов, 16 тысяч разных комбинаций параметров реологии и двух профилей вязкости. Сравнение модельных значений с оценками из [4,5,6] позволило впервые определить значения  $\alpha$  и  $\zeta$  которые успешно описывают вязкоупругое поведение земного вещества. Результаты могут применяться к моделям других планет земной группы.

*Исследование выполнено по госзаданию ИФЗ РАН.*

### **Список литературы:**

1. Amorim, D. O., and T. V. Gudkova Internal Structure of Venus Based on the PREM Model // Solar System Research. 2023. 57.5. p. 414-425;
2. Jackson, Ian, et al. Grain-size-sensitive seismic wave attenuation in polycrystalline olivine // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2002. 107.B12. ECV-5;
3. Efroimsky, Michael. Tidal dissipation compared to seismic dissipation: In small bodies, Earths, and super-Earths // The Astrophysical Journal. 2012. 746.2. p. 150;
4. Ding, Hao, et al. The Complex Love Numbers of Long-Period Zonal Tides Retrieved From Global GPS Displacements: Applications for Determining Mantle Anelasticity // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2021. 126.9. e2021JB022380;
5. Ray, Richard D., Richard J. Eanes, and Frank G. Lemoine Constraints on energy dissipation in the Earth's body tide from satellite tracking and altimetry // Geophysical Journal International. 2001. 144.2. p. 471-480;
6. Luzum, Brian, and Gérard Petit The IERS Conventions (2010): Reference systems and new models // Proceedings of the International Astronomical Union. 2012. 10.H16. 227-228.

Докладчик: **Amorim Dargilan Oliveira**, студент магистратуры, oliveira.ad@phystech.edu

## СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ПОРОДНОГО МАССИВА ПРИ ЗАХОРОНЕНИИ ВЫСОКОАКТИВНЫХ РАО

Акматов Д.Ж.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> ГЦ РАН, Лаборатория геодинамики (1.4)

<sup>2</sup> Национальный исследовательский технологический университет МИСИС

В 2021 году началось строительство подземной исследовательской лаборатории в Красноярском крае для оценки безопасности захоронения радиоактивных отходов. Цель исследований в ПИЛ заключается в оценке сохранности изоляционных свойств породного массива при длительном воздействии горного давления, тектонических напряжений и теплового потока на весь период радиобиологической опасности РАО [1]. Немаловажная часть программы исследований в ПИЛ - геомеханические эксперименты и опыты. Эти исследования включают в себя геомеханические эксперименты и создание трехмерной модели, максимально точно отражающей геолого-тектонические характеристики изучаемого участка. Главная задача геомеханических исследований - выявление потенциально опасных зон и оценка устойчивости массива [2].

Впервые была создана и обоснована трехмерная структурно-тектоническая и расчетно-геологическая модель участка «Енисейский», Нижнеканского гранитогнейсового массива позволяющая реализовать многовариантное моделирование напряженно-деформированного состояния породного массива. Модель создавалась на основе результатов геолого-геофизических данных [2]. Также была предложена специальная рейтинговая система классификации горных пород на основе индекса Q Н. Бартона для комплексной оценки устойчивости массива, учитывающая разрывные нарушения, химический состав подземных вод, тепловое воздействие, гидравлическая проводимость, соотношение между прочностью пород и действующими напряжениями. Установлено, что участки породного массива в зоне динамического влияния тектонических разломов Верхнешумихинский, Меркурьевский и Безымянный являются менее устойчивыми по отношению к породам в центре структурного блока участка «Енисейский». Отметим, что классификация проводится на основе имеющихся в настоящее время данных, которые все еще относительно ограничены.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Геофизического центра РАН, утвержденного Минобрнауки России.*

### **Список литературы:**

1. Татаринев В. Н., Морозов В. Н., Маневич А. И., Татаринев Т. А. Подземная исследовательская лаборатория: к программе геомеханических исследований // Радиоактивные отходы. 2019. № 2 (7). С. 101—118. DOI: 10.25283/2587-9707-2019-2-101-118;
2. Акматов Д.Ж., Маневич А.И., Татаринев В.Н., Шевчук Р.В. Трёхмерная структурно-тектоническая модель участка «Енисейский» (Нижнеканский массив) // Горный журнал. 2023. №1. с.69–74. DOI: 10.17580/gzh.2023.01.11.

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ,  
ПОЛУЧЕННЫХ НА АКВАТОРИИ ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ГУБЫ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА

Алёшин М.И.<sup>1,2</sup>, Беляев П.Ю.<sup>4</sup>, Миринец А.К.<sup>3</sup>, Рыбалко А.Е.<sup>4</sup>, Токарев М.Ю.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория главного геомагнитного поля и петромагнетизма (105)

<sup>2</sup>ООО "Сплит"

<sup>3</sup>МГУ имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Кафедра сейсмометрии и геоакустики;

<sup>4</sup>ФГБУ «ВНИИОкеангеология»

Онежское озеро является вторым по величине в Европе, относительно глубоководным водоемом (средняя глубина 30 м, максимальная – 120 м). Геоморфологический анализ данных, полученных на исследуемой акватории, позволяет на основании геолого-геофизических данных перейти к решению задач экологических и ландшафтных исследований. В представленной работе на основании сейсмо- и гидроакустических данных была построена цифровая модель рельефа дна Петрозаводской губы.

Анализ данных ССВР, АПр и ГЛБО позволил установить гетерогенный характер рельефа дна. Он представлен следующими основными категориями: денудационно-структурной, аккумулятивно-денудационной ледниковой и флювиогляциальной, и озерно-нефелоидной аккумулятивной. Генезис их отражает последовательную смену ледниковых ландшафтов, развитием приледниковых бассейнов и смен их озерным бассейном, на дне которого наряду с накоплением озерных нефелоидов существуют обширные площадки, сложенные подводными выходами лимногляциальных глин и ледниковыми краевыми образованиями (краевые морены, озы).

Проведенные исследования позволяют утверждать, что полученная схема сейсмостратиграфии четвертичных отложений может быть обобщена на большую часть акватории Онежского озера [1].

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ 18-17-00176.*

**Список литературы:**

1. Д. А. Субетто, Н. А. Белкина, В. Д. Страховенко и др., «Палеолимнология Онежского озера: от приледникового озера к современным условиям» — КарНЦ РАН Петрозаводск, 2022. — 332 с.

## СКОРОСТНОЙ РАЗРЕЗ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ОРЕНБУРГСКОГО ПРЕДУРАЛЬЯ ПО ФУНКЦИИ ПРИЁМНИКА Р-ВОЛН

**Астаскевич А.И.<sup>1</sup>, Алёшин И.М.<sup>1</sup>, Гоев А.Г.<sup>2</sup>, Нестеренко М.Ю.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория геоинформатики (501)*

<sup>2</sup>*Институт динамики геосфер Российской академии наук*

<sup>3</sup>*Оренбургский федеральный исследовательский центр Уральского отделения  
РАН, г. Оренбург, Россия*

Глубинное строение коры нефтегазоносного Оренбургского предуралья изучалось достаточно интенсивно. Основным является метод глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ). Метод ГСЗ позволяет получить двумерный сейсмический разрез вплоть до мантийных глубин. Для возбуждения сейсмических волн используются атомные и мощные химические взрывы. Применение ГСЗ требует значительных экономических и временных ресурсов, сложно в организации. Имеются сложности и при интерпретации полученных записей. Помимо этого, в расположении профилей ГСЗ отсутствует системность.

Альтернативой ГСЗ служит метод функции приемника [1], который позволяет построить одномерный разрез под сейсмической станцией. В методе функции приёмника в качестве источника сейсмических волн используют удалённые землетрясения. Приходя на станцию телесеismicкие волны генерируют на неоднородностях среды под станцией обменные волны. Для построения профиля используются записи от нескольких десятков, до нескольких сотен удалённых землетрясений.

На территории Оренбургской области расположена сейсмическая сеть “Нефтегаз-сейсмика”, предназначенная для мониторинга нефтегазовых месторождений. В состав сети входят несколько широкополосных сейсмических станций, что позволяет использовать метод функции приёмника для изучения глубинного строения региона. В ходе работы удалось отобрать 22 удалённых события, расположенных на эпицентральных расстояниях от 40 до 100 градусов. Для них были рассчитаны индивидуальные функции приёмника и рассчитана суммарная (средняя по всем событиям). По суммарной функции приёмника был построен одномерный сейсмический разрез (зависимость скорости поперечных волн от глубины) до глубины 50 км. Суммирование индивидуальных функций приёмника со смещением во временной области в зависимости от лучевого параметра [1] позволило выделить обменные волны от верхней и нижней границ переходной зоны мантии.

Полученный разрез характеризуется четырьмя границами, на которых происходит резкие изменения сейсмических скоростей: контакт осадочного чехла и кристаллического фундамента (5 км), Мохоровичича (32 км), верхняя и нижняя границы переходной зоны мантии. Положение первых двух границ соответствует известным ранее результатам. Разность относительных времён прихода обменных волн от границ зоны фазовых переходов отличается от стандартной, что указывает на возможность рельефа этих границ.

Представленные результаты приняты к публикации в журнале «Сейсмические приборы». Работа выполнена в рамках государственных заданий Отдела геоэкологии ОФИЦ УрО РАН (№ 122011900412-7), ИФЗ РАН (№ 075-01030-23-00) и ИДГ РАН (№ 122040400015-5), утверждённых Минобрнауки России

### **Список литературы:**

1. Винник Л.П. Сейсмология приемных функций // Физика Земли. — 2019. — № 1. — С. 16-27.

Докладчик: Астаскевич Александра Игоревна, инженер, sashajedi@ifz.ru

## РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ САМОСОГЛАСОВАНИЯ

***Бахмач М.М.<sup>1</sup>***

*<sup>1</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория фундаментальных проблем нефтегазовой геофизики и геофизического мониторинга (202)*

Моделирование упругих свойств горных пород позволяет установить связь между минеральным составом, пористостью пород и их упругими свойствами с учетом влияния внутреннего строения.

Модели включений (в том числе, модель метода Берримана) аппроксимируют горную породу как изотропное упругое тело, содержащее включения. Поскольку упругие свойства включений отличаются от свойств матрицы- их наличие в породе может оказывать значимое влияние на общие упругие свойства горной породы [1, 2, 3].

В данной работе проводится расчет упругих свойств методом самосогласования (формула Берримана), расчет граничных значений методом Хашина-Штрикмана и сравнение с полученных результатов как между собой, так и с данными эксперимента.

С помощью перечисленных методов Rock Physics были получены значения эффективных упругих модулей горной породы, состоящей из 6 компонент и построены графики зависимости от пористости следующих рассчитанных параметров: эффективных модулей упругости, плотности и определенных по ним эффективных скоростей упругих волн

### ***Список литературы:***

1. *Баяк И.О.* Основные принципы математического моделирования макроскопических физических свойств коллекторов углеводородов [Статья] // Технологии сейсморазведки, - 2013 г. - 4. - стр. 5-18;
2. *Березина И. А.* Петроупругое моделирование карбонатных пород: обзор некоторых методов теории эффективных сред и аспектов их применимости [Статья]// НЕФТЬ ГАЗ АПРЕЛЬ 2 (69) 2019;
3. *Shubin A., Ryzhkov V., Gorodnov A.* Rock physics model of sandstone with pore-filling salt / 74th EAGE Annual Meeting, Expanded Abstracts, 2012.

## РАСЧЕТ ЧИСЕЛ ЛЯВА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ЛУНЫ

**Белкова Е.А., Гудкова Т.В.**

*ИФЗ РАН, Лаборатория происхождения, внутреннего строения и динамики Земли и планет (102)*

Внутреннее строение Луны исследовалось в разные годы на основе данных, полученных различными методами: с помощью сейсмического эксперимента Apollo, магнитометра и электронного рефлектметра Lunar Prospector, лазерной локации Lunar Laser Ranging, миссии GRAIL по изучению гравитационного поля. Сейсмометры были установлены на одной стороне Луны, поэтому построенные сейсмические модели лунных недр нельзя назвать однозначными, особенно на глубине ниже 500-750 км, они требуют уточнения и детализации посредством введения и учёта дополнительных параметров. Более того, термические, сейсмические и петрологические модели мантии противоречивы [1]. Для изучения внутреннего строения Луны также используются приливные деформации, их гармонические составляющие второй степени могут быть выражены числами Лява  $k_2$ ,  $h_2$  и Шида  $l_2$ , оперируя измеренными и расчётными значениями этих показателей, можно варьировать комбинации толщин и вязкостей слоёв различных моделей Луны [2]. При построении моделей в качестве граничных условий обычно используются данные о массе, моменте инерции  $I$ , а также значение числа Лява  $k_2$ , которое является наиболее точно измеренным и чувствительным к строению зоны на границе с ядром.

В настоящее время Луна становится объектом детального исследования во многих планируемых миссиях и целью текущего исследования ставится расчёт чисел Лява для определения требуемой точности их измерения для возможности выбора между моделями внутреннего строения Луны с различным набором геохимических и геофизических параметров. Для теоретического расчета чисел Лява решается связанная система уравнений теории упругости и теории гравитационного потенциала. Луна рассматривается как упругая неоднородная сжимаемая и гравитирующая сфера, в которой все параметры ее внутреннего строения зависят только от радиуса. В работе вычисляются числа Лява для E- и M-моделей из работы [3].

### **Список литературы:**

1. Кусков О.Л., Е.В. Конрод, В.А. Конрод. Внутреннее строение мантии Луны: согласование геохимических и геофизических моделей // *Астрономический вестник*. 2023. Т. 57. № 5. С. 415-438;
2. Briaud, A., Fienga, A., Melini, D., Rambaux, N., Mémin, A., Spada, G., et al. Constraints on the lunar core viscosity from tidal deformation // *Icarus*. 2023. V. 394, 115426;
3. Kronrod, E., Matsumoto, K., Kuskov, O.L., Kronrod, V., Yamada, R. and Kamata, S. Towards geochemical alternatives to geophysical models of the internal structure of the lunar mantle and core // *Advances in Space Research*. 2022. 69(7), p. 2798-2824.

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ МАГНИТУДЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И  
ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОЛНИЙ. ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ  
МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

*Бондаренко А. М.<sup>1,2</sup>, Ягова Н. В.<sup>1</sup>, Макаров Е. О.<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup> ИФЗ РАН, Лаборатория физики околоземного пространства (402)

<sup>2</sup> НИУ МЭИ, Кафедра прикладной математики и искусственного интеллекта

<sup>3</sup> Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук»

На основе анализа пространственного распределения молний, землетрясений в области Курило-Камчатской дуги по данным с 2010 по 2016 год, установлен эффект перераспределения молний накануне сильных землетрясений.

Составлены описательные характеристики пространственного распределения молний.

На основе статистического анализа выявлено, что между описательными характеристиками пространственного распределения молний и магнитудой землетрясений в соответствующие им дни нет линейной зависимости, что делает невозможным применение линейного регрессионного анализа.

Моделирование проведено методами машинного обучения, а именно при помощи ансамблевого метода: градиентный бустинг над решающими деревьями [1], представляющего собой последовательность функций, минимизирующих среднеквадратичное отклонение градиентным спуском, а также метода селекции модели кросс-валидацией [2], представляющего разбиение общей выборки на обучающие и тестовые наборы несколькими способами и подбор модели таким образом, чтобы минимизировать среднеквадратичное отклонение модели одновременно на всех обучающих и тестовых подвыборках, что обеспечивает статистическую устойчивость модели к новым данным.

Рассматривая описательные характеристики пространственного распределения молний как признаковое пространство, данные были нормированы, стандартизованы, и обработаны методом главных компонент [3], а именно переведены в новый базис, в котором выделены наиболее значимые компоненты.

Описанными методами построена модель статистической взаимосвязи магнитуды землетрясений и пространственного распределения молний.

В рассматриваемом признаковом пространстве существуют области повышенной ожидаемой сейсмической активности.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 22-17-00125.*

**Список литературы:**

1. Елистратова Е., Лунёв К. Градиентный бустинг над решающими деревьями [Электронный ресурс] / Академия Яндекса. Школа анализа данных. // Учебник по машинному обучению. – 2.5. Градиентный бустинг: <https://academy.yandex.ru/handbook/ml/article/gradientnyj-busting>. – Дата обращения: 18.10.2023;
2. Елистратова Е. Кросс-валидация [Электронный ресурс] / Академия Яндекса. Школа анализа данных. // Учебник по машинному обучению. – 3.2. Кросс-валидация: <https://academy.yandex.ru/handbook/ml/article/kross-validaciya>. – Дата обращения: 18.10.2023;
3. Вильховенко А., Тихонов С. Метод главных компонент [Электронный ресурс] / Академия Яндекса. Школа анализа данных. // Прикладной анализ данных. – 6.2. Метод главных компонент и факторный анализ: <https://academy.yandex.ru/handbook/data-analysis/article/metod-glavnyh-komponent-i-faktornyj-analiz>. Дата обращения: 18.10.2023.



РЕКОНСТРУКЦИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В БОРТАХ ИМАНДРА-КОЛВИЦКОГО  
РАЗЛОМА В РАЙОНЕ ОЗ. СРЕДНЕЕ ЛУВЕНЬГСКОЕ (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

*Бондарь И.В.<sup>1,3</sup>, Королева А.О.<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория фундаментальных и прикладных проблем тектонофизики  
(204)*

<sup>2</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория сейсмической опасности (302)*

<sup>3</sup>*Институт географии Российской академии наук*

Район исследования расположен в юго-восточной части Кольского полуострова, в районе Лувеньгских тундр. В районе оз. Среднее Лувеньгское тундры пересекает Имандра-Колвицкий разлом.

В данной работе для реконструкции характеристик напряженного состояния был применен метод катакластического анализа разрывных смещений Ребецкого Ю.Л. [1]. Данный метод позволяет определить количественные характеристики реконструируемых локальных стресс-состояний. Расчет производится в автоматическом режиме в программе StressGeol.

В результате расчета получено 6 локальных стресс-состояний, три в восточном борту разлома и три – в западном. В восточном борту разлома в двух локальных стресс-состояниях главные оси напряжения ориентированы почти одинаково – ось максимального сжатия круто погружается в северо-восточном направлении, а ось максимального сжатия в одном случае круто погружается в юго-западном направлении, в другом – полого на запад. В третьем локальном стресс-состоянии ось максимального сжатия полого погружается на восток, а ось максимального растяжения – на юг.

В западном борту в точке наблюдения 21346 ось максимального сжатия полого погружается на север, а ось максимального растяжения – на восток. В точке наблюдения 21345 ось максимального сжатия вертикальная, а ось максимального растяжения полого погружается на север. В точке наблюдения 23601 ось максимального сжатия круто погружается на юго-запад, а ось максимального растяжения полого погружается на север.

В результате выделяется два преобладающих направления максимального сжатия – западное и северное. При ориентировке оси максимального сжатия в северном направлении разлом будет иметь правосдвиговую кинематику, а при ориентировке в западном направлении – левосдвиговую кинематику. В работе [2] указано, что данный разлом в доплейстоценовое время развивался как правый сдвиг, а позднее – как левый. Таким образом, зафиксированы следы обоих движений по разлому.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 23-27-00205.*

**Список литературы:**

1. Ребецкий Ю. Л., Сим Л. А., Маринин А. В. От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методы и алгоритмы. ГЕОС Москва. 2017. 225 с.;
2. Колодяжный С.Ю., Балувев А.С., Зыков Д.С. Структура и эволюция северо-запада Беломорско-Северо-двинской зоны сдвига в позднем Протерозое и Фанерозое (Восточно-Европейская платформа) // Геотектоника. 2019. № 1. С. 62–86

## ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ПРОТОННЫХ СОБЫТИЙ В ИНТЕРЕСАХ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

**Буров В. А.<sup>2</sup>, Кондратов А. Д.<sup>1,2</sup>, Очелков Ю. П.<sup>2</sup>, Холодков К. И.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук,  
Лаборатория геоинформатики (№501)*

<sup>2</sup> *Институт прикладной геофизики им. Е. К. Федорова, АО ГИ*

С развитием высоких технологий космическая погода становится важным игроком на арене различных отраслей, в частности, в гражданской авиации. Так, одним из феноменов, отслеживаемый Глобальными центрами космической погоды под эгидой ИКАО является мощность дозы радиационного облучения на различных эшелонах полёта гражданского судна. Ключевым показателем в всех моделях вычисления мощности дозы радиационного облучения является количество высокоэнергетических частиц, фиксируемых на орбите Земли космическими аппаратами серии GOES, оператором которых является Национальное управление океанических и атмосферных исследований США.

Потоки высокоэнергетических частиц связаны с Солнечными протонными событиями. Существует зависимость потока протонов от потока электро-магнитного излучения, в частности, потока рентгеновского излучения. Предложенный инструмент эксплуатирует именно эту зависимость.

Поскольку на данный момент известны далеко не все факторы, определяющие интенсивность событий СПС, прогнозирование СПС по электромагнитному излучению вспышек остается довольно сложной задачей.

В предложенном инструменте используется вероятностный подход к определению зависимости интенсивности события СПС в максимуме от интенсивности предшествующей рентгеновской вспышки. В качестве исходных данных использует поток рентгеновского излучения и данные счётчиков высокоэнергетических частиц. Продуктом являются вероятности возникновения протонных событий.

Инструмент представляет собой модуль расчётов, который в круглосуточном режиме производит вычисления вероятностей в рамках автоматизированной системы мониторинга космической погоды Российского сегмента Русско-китайского консорциума — глобального центра космической погоды под эгидой ИКАО.

Проведена верификация результатов, подтверждена высокая оправдываемость для событий, представляющих опасность для авионавигации при нулевой вероятности ложных тревог. Проводится оценка инструмента по данным реального времени в рамках оперативной работы центра космической погоды.

*Работа выполнена в рамках государственных задания ИФЗ РАН (№ 075-01030-23-00), утвержденного Минобрнауки России*

## АНАЛИЗ МОДЕЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СМЕЩЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ЗОНАХ НАКЛОННЫХ РАЗДВИГОВ

**Васильев А.Н.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория современной и прикладной геодинамики (201), ИФЗ РАН*

Как известно, одним из наиболее опасных видов последствий разработки месторождений нефти и газа является аномальная деформационная активность разломов [1,2]. Как правило, эти разломы представлены раздвигами, которые формируют локальные, квазисимметричные оседания поверхности в окрестности разломных зон и могут быть описаны с помощью представлений о пороупругих включениях и неоднородностях в параметрически-индуцированной модели активизированных разломов [3, 4, 5, 6].

Для количественного описания наклонных раздвиговых разломов использованы аналитические модели, основанные на теории дислокаций [7,8,9,10]. Моделирование вертикальных смещений земной поверхности показало, что по морфологии смещений раздвиговой разлом с углом наклона в 75 градусов, идентичен сбросовому разлому с углом наклона в 50 градусов. Подобные парадоксальные совпадения морфологии кривых вертикальных смещений необходимо тщательно учитывать при решении обратных задач современной геодинамики разломов.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИФЗ РАН за 2023 г.*

### **Список литературы:**

1. Кузьмин Ю. О. Деформационные последствия разработки месторождений нефти и газа // Геофизические процессы и биосфера. 2021. Т. 20, № 4. С. 103-121;
2. Кузьмин Ю. О. Современная аномальная геодинамика недр, индуцированная малыми природно-техногенными воздействиями // Горный информационно - аналитический бюллетень (научно-технический журнал). М.: МГГУ. N 9. 2002, С. 48-55;
3. Кузьмин Ю. О. Современная аномальная геодинамика асейсмичных разломных зон // Вестник отделения геологии, геофизики, геохимии и горных наук Российской академии наук. 2002. № 1. С. 1-27;
4. Кузьмин Ю. О. Современная геодинамика системы разломов // Физика Земли. 2015. № 4. С. 25 – 30;
5. Кузьмин Ю. О. Современные объемные деформации разломных зон // Физика Земли. 2022. № 4. С. 3-18;
6. Кузьмин Ю. О. Физические основы современной геодинамики // Геофизические процессы и биосфера. Т. 22. № 2. С. 5-58;
7. Davis, P. M. (1983). Surface deformation associated with a dipping hydrofracture. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 88(B7), pp. 5826–5834;
8. Okada, Y., “Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space”, Bull. Seismol. Soc. Am., vol. 75, pp. 1135-1154, 1985;
9. Singh, S.J., Kumar, A., Rani, S. & Singh, M., 2002. Deformation of a uniform half-space due to a long inclined tensile fault, Geophys. J. Int., 148, pp. 687-691;
10. Nikkhoo Mehdi, Walter Thomas R., Lundgren Paul, Prats-Iraola Pau, (2017). Compound dislocation models (CDMs) for volcano deformation analyses, Geophys. J. Int., 208, 877-894.

Докладчик: **Васильев Артем Николаевич**, аспирант, vasilev.an@phystech.edu

## КОМБИНИРОВАННАЯ ИНВЕРСИЯ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ПРИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ

*Верин Ф.С., Тихоцкий С.А.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория фундаментальных проблем нефтегазовой геофизики и геофизического мониторинга №202*

**Введение.** В инженерной геофизике, использование методов электротомографии (ЭТ) и сейсмотомографии (СТ) является общепринятой практикой для получения информации о свойствах грунта [1]. Эти методы измеряют различные характеристики грунта, такие как сопротивление и скорость распространения волн, соответственно. В связи с этим, возникает необходимость оценить корреляцию между этими методами и свойствами грунта, а также возможность проведения совместной инверсии основываясь на всех геофизических данных.

**Основные проблемы.** Несмотря на применение методов ЭТ и СТ в комплексе, в производственной практике полевые результаты методов обрабатываются методом инверсии независимо друга от друга [2]. Корреляция результатов проводится интерпретатором на качественном уровне. В ходе работы были изучены исследования корреляции сейсмических и электромагнитных свойств пород, методы применения инверсии в геофизических программах, применяемых на производстве [3]. Несмотря на наличие научных исследований и разнообразие программных пакетов, в отечественной производственной практике применения инженерно-геофизических изысканий отсутствует программа совместной инверсии данных электротомографии и сейсмотомографии.

**Выводы.** Актуальность работы заключается в растущем спросе на инженерно-геофизические изыскания и необходимостью постоянного усовершенствования существующих методик обработки и интерпретации данных.

### **Список литературы:**

1. Бобачев А. А., Горбунов А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А.. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации. Приборы и системы разведочной геофизики. 2006, N02, 14-17;
2. Шерифф Р., Гелдарт Л. Сейсморазведка. Москва, издательство Мир, 1987, т.1, с.26-66;
3. Menke, W. Geophysical data analysis: discrete inverse theory (3rd ed.). Academic Press, 2012, с.16-18.

## ВТОРИЧНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КАЛЬЦИТА СПЕЛЕОТЕМА «VOR» И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ПАЛЕОМАГНИТНУЮ ЗАПИСЬ

*Гаврюшкин Д.А.<sup>1</sup>, Маслобоева А.Е.<sup>2</sup>, Максимов Ф.Е.<sup>2</sup>, Веселовский Р.В.<sup>1</sup>, Ершова В.Б.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория археомagnetизма и эволюции геомагнитного поля (106)*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский государственный университет*

Представлены результаты комплексного изучения спелеотема «Vor» из Воронцовской пещеры (Краснодарский край), в котором сохранена палеомагнитная запись хорошего качества и выделяется эпизод аномальных палеомагнитных направлений – геомагнитный экскурс [1]. При попытке датирования спелеотема двумя независимыми методами –  $^{230}\text{Th}/\text{U}$  и  $^{14}\text{C}$  – были получены указания на открытие изотопных систем в постседиментационное время [2]. Изучение шлифов спелеотема с помощью оптической и катодолюминесцентной микроскопии также дает основания полагать, что первичный кальцит в постседиментационное время был подвергнут вторичным изменениям. Объем и глубина этих изменений в настоящее время изучаются. Необычным является тот факт, что, согласно существующим представлениям [3], вторичные изменения в структуре кристаллов кальцита спелеотемов должны приводить к искажению или полному уничтожению первичной палеомагнитной записи. Однако палеомагнитная запись в спелеотема «Vor», в частности запись геомагнитного экскурса, по ряду признаков представляется первичной. Например, крайне маловероятно чтобы физический или химический процесс был способен создать вторичную намагниченность в кальците спелеотема таким образом, чтобы его палеомагнитная запись характеризовалась признаками геомагнитного экскурса.

Дальнейшие исследования спелеотема «Vor» направлены на изучение предполагаемых изменений кристаллической структуры слагающего его кальцита для выявления механизмов вторичных изменений и их влияния на сохранность палеомагнитной записи. Данные исследования важны в контексте изучения палеогеомагнитных вариаций геомагнитного поля, в особенности таких явлений как геомагнитные экскурсы, и являются уникальными, т.к. в мировой литературе на данный момент нет подробного описания случаев сохранения палеомагнитной записи в спелеотемах, подвергнутых вторичным изменениям.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №22-27-00453.*

### **Список литературы:**

1. Gavriushkin D.A., Pasenko A.M., Veselovskiy R.V., Rud'ko D.V. Geomagnetic Excursion Record Preserved in the Speleothem from Western Caucasus: First Data // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2022. 13 (2s), 0624. doi:10.5800/GT-2022-13-2s-0624Haskell N.A.;
2. Gavriushkin, D.A., Maksimov, F.E., Pasenko, A.M. et al. First Results of Complex Dating and Growth Rate Estimation of Speleothem from Vorontsovskaya Cave (Krasnodar Region, Russia). *Dokl. Earth Sc.* (2023). <https://doi.org/10.1134/S1028334X23602092>;
3. Lascu, Ioan & Feinberg, Joshua. (2011). Speleothem magnetism. *Quaternary Science Reviews - QUATERNARY SCI REV.* 30. 3306-3320. 10.1016/j.quascirev.2011.08.004.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАЛЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ТЕКТОНОФИЗИКЕ

*Гордеев Н.А.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория фундаментальных и прикладных проблем тектонофизики  
(204)*

Тектонофизика это раздел наук о земле, который изучает процессы деформации в земной коре и источники этих деформаций [1]. Для изучения физических закономерностей тектонических процессов полевым отрядам тектонофизиков необходимо исследовать и измерять пространственно-вещественные параметры геологических индикаторов деформаций (сколы, отрывы, зеркала скольжения, складки, жилы и др.). Помимо перечисленных объектов изучается и структурный план обнажений, как расположены разрывы, крупные складки, поднятия и опускания, как в теле обнажения ориентированы и проявлены крупные структурные единицы. В случае изучения крупных структурных форм инструментарий человечества пополнился беспилотными летательными аппаратами (БПЛА).

На момент 2023 года распространены услуги по оптической, магнитной и инфракрасной съёмки объектов. Главный поставщик таких услуг является GEOSCAN. Для полевой тектонофизики помимо высокого качества данных, необходима высокая мобильность. Она становится доступна при использовании малых БПЛА (МБПЛА), которые можно перемещать в компактной сумке. Например, модель DJI mini 2 или DJI mavic 3 идеально подходит для использования в полевых труднодоступных условиях.

Оптическая съёмка объектов интереса добавляет возможность использовать в тектонофизических исследованиях технологии фотограмметрии. Построение привязанной в пространстве объемной поверхности геологических структур позволяет производить измерения геометрических параметров этих структур. Использовать эти данные для построения геологических моделей и точной привязке реконструкций локальных стресс-состояний.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИФЗ РАН.*

### **Список литературы:**

1. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М., «Наука», 1975, 536с.

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПАЛЕОМАГНИТНОГО ИЗУЧЕНИЯ ОПОРНОГО РАЗРЕЗА  
ЛЕССОВО-ПОЧВЕННЫХ СЕРИЙ «ОТКАЗНОЕ» (СТАВРОПОЛЬСКИЙ КРАЙ)

*Дуданова В.И.<sup>1,2</sup>, Константинов Е.А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория главного геомагнитного поля и петромагнетизма (105)*

<sup>2</sup>*МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет*

<sup>3</sup>*Институт географии РАН*

Лессово-почвенные серии (ЛПС) Восточного Предкавказья по своей стратиграфической полноте и мощности практически сопоставимы с ЛПС Китая и Средней Азии и являются уникальными в пределах Восточной Европы. Продолжительность формирования ЛПС Предкавказского региона оценивается в 700–800 тыс. лет, а их мощность закономерно изменяется от 10–30 м до 100–140 м с запада (побережье Азовского моря) на восток (Терско-Кумская низменность) [1]. К настоящему времени для верхнечетвертичных лессов Предкавказья разработана детальная хроностратиграфическая схема их формирования [1]. В то же время для лессово-почвенных серий среднего и нижнего неоплейстоцена, ввиду их меньшей изученности и ограниченной применимости методов датирования, отсутствует однозначная привязка ЛПС к хроностратиграфической схеме Восточно-Европейской равнины и корреляция с изотопно-кислородной шкалой (МИС).

В ходе полевых работ 2023 г. в опорном разрезе ЛПС «Отказное» (44.17° с.ш., 43.51° в.д.), расположенном в пределах Терско-Кумской низменности на восточном борту Отказненского водохранилища, для петро- и палеомагнитных исследований была отобрана коллекция из 220 ориентированных штуфов, которые в лабораторных условиях были распилены на палеомагнитные образцы (2×2×2 см). Все магнитные измерения были выполнены согласно стандартным методикам в Лаборатории Главного геомагнитного поля ИФЗ РАН на оборудовании ЦКП ИФЗ РАН.

В результате предварительных палеомагнитных исследований нижней части разреза установлено, что граница Матуяма-Брюнес в разрезе «Отказное» фиксируется на глубине 69.5 м в кровле лесса L9, на 0.5 м ниже подошвы педокомплекса S8, и соответствует границе МИС 19/20. Полученные данные согласуются с результатами предшествующих работ С.С. Фаустова и Е.И. Вириной, выполненных в конце XX века по материалам керна скважины [2], и показывают их перспективность для детального изучения инверсии геомагнитного поля Матуяма-Брюнес в данном разрезе.

*Исследование выполнено в рамках проекта РНФ 21-77-10104 и Государственного задания ИФЗ РАН.*

**Список литературы:**

1. Константинов Е.А., Захаров А.Л., Сычев Н.В., Мазнева Е.А. и др. Лессонакопление на юге Европейской России в конце четвертичного периода // Вестник Российской Академии Наук. 2022. Том 92. № 6. С. 572–582;
2. Фаустов С.С., Вирина Е.И. О стратиграфическом положении границы Матуяма-Брюнес в лёссовой формации Русской равнины // Бюлл. комиссии по изучению четвертичного периода. 2001. № 64. С. 21–31.

Докладчик: Дуданова Варвара Ивановна, инженер (105 лаборатория), аспирант МГУ, varyanich1212@gmail.com

## ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В СЛОИСТЫХ ПЛАВНО НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ

**Жарков Д.А., Жостков Р.А.**

*ИФЗ РАН, Лаборатория фундаментальных проблем  
экологической геофизики и вулканологии (703)*

Исследование распространения поверхностных акустических волн (ПАВ) в слоистых средах представляется собой актуальную задачу, поскольку они являются основой многих используемых методов сейсморазведки. Ряд из них, такие как MASW и SPAC используют информацию о скорости волны и, таким образом, на основе анализа дисперсионной кривой строится модель исследуемой среды. Другие, например, метод микросейсмического зондирования (ММЗ) [2] концентрируются на измерении амплитуд и последующем анализе спектров измеренных сигналов. Оба подхода имеют свои сильные и слабые стороны [3] и возникает вопрос о возможности объединения этих методов с целью использования максимального количества информации, получаемой из эксперимента, например, для их совместной обработки. Применительно к сейсморазведке для улучшения используемых методов необходимо развивать теоретические модели для создания алгоритмов инверсии экспериментальных данных, а также для обоснования применяемых подходов. Для этого нужно понимать механизмы распространения ПАВ в слоистых средах, в частности, не только скоростные характеристики, но и амплитудные, поскольку они также несут немало информации о строении среды. В связи с тем, что поведению амплитудных характеристик ПАВ в неоднородных средах уделено недостаточно внимания, необходимо дальнейшее исследование этого вопроса.

В настоящей работе исследовано распространение волны рэлеевского типа вдоль свободной границы слоистого полупространства в плоско-волновой двумерной постановке. Разработан алгоритм, позволяющий совместно рассчитывать скоростные,  $H/V$  и энергетические характеристики, а также вертикальные профили компонент смещений. Проанализирован случай аномальной дисперсии, для которого волна может быть нераспространяющейся, т.е. теряющей энергию с расстоянием. Теоретически показано изменение амплитуды поверхностной волны при переходе из одной слоистой среды в другую: при переходе в полупространство с меньшими значениями упругих параметров наблюдается увеличение амплитуды, а с большими – уменьшение, что согласуется с основами ММЗ. Проверка полученных результатов была произведена путем сравнения с численным моделированием в программном пакете COMSOL Multiphysics.

### **Список литературы:**

1. *Presnov D.A., Sobisevich A.L., Shurup A.S.* Model of the Geoacoustic Tomography Based on Surface-type Waves // *Physics of Wave Phenomena*. 2016. V. 24. № 3. P. 249–254;
2. *Яновская Т.Б.* К теории метода микросейсмического зондирования // *Физика Земли*. 2017. № 6. С. 18;
3. *Жостков Р.А., Преснов Д.А., Шуруп А.С., Собисевич А.Л.* Сравнение микросейсмического зондирования и томографического подхода при изучении глубинного строения земли // *Известия РАН. Серия физическая*. 2017. Т. 81. № 1. С. 725.

Докладчик: **Жарков Денис Александрович**, м.н.с., аспирант, [denis.Zharkov2014@yandex.ru](mailto:denis.Zharkov2014@yandex.ru)



## ГЕОМАГНИТНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ Pc5 ДИАПАЗОНА И ПОТОКИ ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЯМИ ПОРЯДКА 100 КЭВ ВО ВНЕШНЕЙ МАГНИТОСФЕРЕ

*Зворыгина Е.С.<sup>1</sup>, Ягова Н. В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*МФТИ (НИУ)*

<sup>2</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория физики околоземного пространства (402)*

Работа посвящена взаимосвязи между потоками электронами с энергиями от 40 кэВ до 475 кэВ и амплитудами геомагнитных пульсаций Pc5/Pi3. Использовались данные измерений магнитного поля и дифференциального по направлению и энергии потока электронов на геостационарном спутнике GOES-15 за несколько месяцев 2016 года. Проведен анализ зависимости линейного коэффициента корреляции между амплитудой геомагнитных пульсаций Pc5/Pi3 и потоками электронов от времени сдвига с учетом суточного хода. Анализ суточного хода для амплитуды пульсаций и потоков, показал, что наиболее эффективно он подавляется, если перейти к логарифмам амплитуд и потоков. Выбранный сдвиг времени варьировался от 1 до 24 часов.

Для всех комбинаций ”компонента поля – энергия/направление потока электронов” наблюдаются положительные корреляции. При этом на энергиях меньше 100 кэВ заметны меньшие времена задержки, а наибольшие значения коэффициента корреляции наблюдаются для частиц с малыми питч-углами. Это позволяет предположить, что заметный вклад в ускорение электронов вносят УНЧ волны. Вероятным механизмом в этом случае является взаимодействие электрона с МГД волной на частотах первых гармоник дрейфового резонанса. Начиная с энергии 150 кэВ наблюдается уменьшение коэффициента корреляции и увеличение времени задержки, что свидетельствует о вкладе других механизмов ускорения.

ЛАБОРАТОРНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИ СТИМУЛИРОВАННОГО  
РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД РАЗНЫХ ТИПОВ НА ОСНОВЕ  
СТАТИСТИКИ ИМПУЛЬСОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ И  
МИКРОСТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА

*Индаков Г.С.<sup>1,2</sup>, Казначеев П.А.<sup>2</sup>, Майбук З.-Ю.Я.<sup>2</sup>, Пономарев А.В.<sup>2</sup>, Матвеев М.А.<sup>2</sup>,  
Морозов Ю.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> МГУ им. М.В.Ломоносова, г. Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

Изучение процесса термического разрушения горных пород в лабораторных условиях является важной и актуальной геофизической задачей. В качестве наиболее удобного и эффективного способа мониторинга развития разрушения используется регистрация акустической эмиссии (АЭ). События АЭ распределены по энергиям, в основном, в соответствии с законом Гутенберга-Рихтера, что позволяет проводить аналогии между результатами лабораторных экспериментов и параметрами сейсмического процесса.

В данной работе был проведен сравнительный анализ особенностей процесса термически стимулированного разрушения горных пород разного происхождения на основе статистики импульсов термостимулированной АЭ (ТАЭ) для образцов горных пород разного состава и происхождения: гранитов, базальтов и метапесчаников. Метапесчаники представляют собой образцы осадочных пород, подвергшихся раннему метаморфизму (более 1.5 млрд лет назад) при различных рТ-условиях в зависимости от глубины залегания.

Для анализа развития разрушения были рассмотрены статистические параметры ТАЭ – активность и b-value. Эксперименты с образцами гранитов и базальтов были систематизированы по типу активности для возможности сравнения результатов. Параметр b-value был пересчитан для сопоставления с натурными данными. Для объяснения выявленных закономерностей изменения b-value предложена интерпретация результатов в рамках модели лавинно-неустойчивого трещинообразования (ЛНТ). Выдвинута гипотеза о возможности наличия взаимосвязей между физически различными статистическими параметрами, характеризующими разрушение, и микроструктурой горных пород. Объектом исследования при изучении микроструктуры является зернистая структура горной породы как совокупность зерен, характерные величины каждого из которых измеримы, что позволяет оценить статистические параметры распределения величин (прежде всего, средний размер). В работе рассмотрены методы оценки распределения зерен горных пород по размерам на основе анализа микрофотографий шлифов, полученных на оптическом микроскопе.

*Экспериментальные данные получены в рамках гос. задания ИФЗ РАН.*

НОВЫЕ СИНХРОННЫЕ МТ ЗОНДИРОВАНИЯ НА ВОСТОКЕ ФЕННОСКАНДИИ:  
ПРОФИЛИ ПСКОВ - ВАЛДАЙ И ВЕЛИКИЕ ЛУКИ - ПОРХОВ

*Ионичева А.П.<sup>1</sup>, Варенцов Ив.М.<sup>1</sup>, Куликов В.А., Родина Т.А.<sup>1</sup>, Лозовский И.Н.<sup>1</sup>,  
Шагарова Н.М., Ширяев М.И.<sup>2</sup>, Яковлев А.Г.<sup>2</sup>.*

<sup>1</sup> ЦГЭМИ ИФЗ РАН, Лаборатория магнитотеллурических исследований

<sup>2</sup> Геологический факультет МГУ, Москва

В 2018–2022 г. в кооперации ЦГЭМИ ИФЗ РАН, Геологического факультета МГУ и ГИН РАН на 9 широтных профилях проведены глубинные магнитотеллурические (МТ) зондирования проекта SMOLENSK, существенно расширившие массив синхронных зондирований KIROVOGRAD на СЗ с Воронежского кристаллического массива (ВКМ) в зону сочленения крупнейших сегментов Восточно-Европейской платформы. Основными задачами здесь стало исследование раннепротерозойских шовных зон с проводящими метаосадками, аналогичных выделенным на ВКМ, изучение общей конфигурации осадочных бассейнов и особенностей строения Волыно-Оршанской и Среднерусской систем позднепротерозойских авлакогенов. В 2018-20 г. зондирования велись длинно-периодными станциями LEM1-417V (ИКИ НАНУ) с феррозондовыми магнитометрами, в 2020-22 г. – широкополосной аппаратурой МЭРИ-Про (ООО «Северо-Запад») с индукционными магнитными датчиками IMS-010 (ООО «ВЕГА»), также использовались данные ближних геомагнитных обсерваторий.

В июле 2023 г. эти исследования были продолжены – проведено 53 синхронных зондирования на самом северном широтном профиле Псков - Валдай (PV) и на меридиональном профиле Великие Луки - Порхов (VP). К станциям МЭРИ-Про добавилась полученная ЦГЭМИ ИФЗ РАН новая аппаратура NORD+ производства ООО «Северо-Запад» также с индукционными датчиками IMS-010. Измерения велись в магнитной системе координат синхронно несколькими станциями, включая удаленную станцию ALX на Геофизической базе МГУ в д. Александровка Калужской области, используемую в помехоподавляющей обработке данных. Длительность записей в среднем составляла 20 часов. Оценивались передаточные операторы импеданса, типпера и горизонтального магнитовариационного (МВ) отклика (отн. ALX). Полученные данные характеризуют геоэлектрическую структуру всей земной коры и верхней части литосферной мантии (до глубин ~100 км). В докладе представлены первые результаты анализа МТ/МВ данных вдоль профилей PV и VP, а также обновленные карты важнейших инвариантов передаточных операторов для всего массива зондирований SMOLENSK.

Важнейшим результатом новых зондирований стала северная локализация Ильменской коровой аномалии электропроводности, открытой в 1960-70х годах группой И.И. Рокитянского по редким данным МВ зондирований и подробно изученной нами в 2021-22 г. южнее на профилях Пушкинские Горы - Андреаполь и Остров - Осташков. Еще одним важным результатом стало подтверждение возможности получения кондиционных результатов МТ/МВ зондирований вблизи (на удалении от 40 км) важнейшего источника региональных ЭМ помех – электрифицированной Октябрьской ж/д. Эта возможность позволит продолжить массив зондирований SMOLENSK еще далее на север.

## КОНТРОЛЬ ИЗМЕНЧИВОСТИ СВОЙСТВ КЕРНА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ ПРИ ПОМОЩИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

*Калинина М.С., Попов Ю.А., Чехонин Е.М.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Сколтех, Сколковский институт науки и технологий*

Мониторинг физических свойств образцов керна должен являться необходимым этапом в комплексе лабораторных исследований образцов пород для выявления изменений свойств, связанных: 1) с нарушением целостности породы в ходе бурения, с уменьшением давления (декомпрессионный эффект) и температуры, а также потере природного флюида в пустотном пространстве пород при транспортировке и хранении керна; 2) с любым воздействием на образцы (экстрагирование, флюидонасыщение, высушивание, механическая обработка) в цикле лабораторных исследований. Подобные воздействия на керн приводят к изменению его физических свойств из-за изменений его минеральной матрицы и пустотного пространства. Понимание процессов, происходящих с керном, и их природы важно для корректного определения физических свойств пород в природных условиях, а также при последующем анализе, интерпретации результатов и установлении взаимосвязи между данными, полученными в лабораторных условиях, и результатами ГИС. Современные подходы к предотвращению изменений физических свойств керна и минимизации его контакта с внешней средой заключаются в консервации и стабилизации (заморозка, закачка смолы, закачка гипса или пены) керна на буровой площадке. Однако, эти методы не могут быть успешно реализованы на практике, поскольку они являются дорогостоящими и время затратными, и самое главное, они могут привести к химическому загрязнению керна, что искажает результаты лабораторных исследований. В условиях расширяющего применения технологии оптического сканирования рассматривается новый подход для контроля состояния керна в атмосферных условиях и прогноза свойств породы *«in-situ»*. Технология оптического сканирования является инструментом для оперативной и надежной регистрации пространственно-временных вариаций тепловых свойств пород. Основные достоинства метода – быстрые, прецизионные, бесконтактные и неразрушающие измерения на образцах. Результате теплофизического мониторинга интерпретируются методами «рок-физики» с последующим прогнозом транспортных и упругих свойств породы *«in-situ»* т.е. до нарушения целостности образцов.

Нами исследованы изменения пород на основе анализа большого объема представительных данных теплофизического мониторинга керна научных, параметрических и поисковых скважин, пробуренных в осадочных бассейнах. С использованием теоретической модели оценено влияние развития микротрещин на теплопроводность пород. При построении модели принимали теплопроводность минеральной матрицы осадочных пород равной 3 Вт/(м·К) и рассматривали высушенное состояние образцов. По результатам моделирования снижение теплопроводности породы при образовании микротрещин (до 2%) составило до 60%.

Использование метода оптического сканирования как одного из наиболее эффективных методов для оперативной регистрации флуктуаций свойств образцов керна в лабораторных исследованиях с последующим применением теоретического моделирования для интерпретации этих результатов и прогноза физических свойств пород до их изменения становится необходимым этапом работ в лабораторных петрофизических исследованиях, имеющим большой потенциал для практического применения в нефтегазовой отрасли.

## ОЦЕНКИ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА РАДОНА И ИНТЕНСИВНОСТИ ИОНООБРАЗОВАНИЯ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

*Климанова Е.В., Анисимов С.В., Галиченко С.В., Афиногенов К.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Лаборатория геофизического мониторинга ГО «Борок» ИФЗ РАН*

В приземной атмосфере основной вклад в ионизацию воздуха вносится высокоэнергетическими частицами, испускаемыми в результате распадов в радиоактивных рядах элементов земной коры (таких как  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ), ядерных превращений диффундирующих в атмосферу из земной коры инертных газов  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$  и  $^{219}\text{Rn}$ , а также вторичными космическими лучами. Вследствие вариативности концентраций радионуклидов в различных грунтах и зависимости плотности потока выходящих из земли радиоактивных газов от пористости, влагосодержания грунта и иных факторов актуальна проблема составления радиационных карт земной поверхности [1].

В период с лета 2017 года по осень 2023 на полигоне геофизической обсерватории «Борок» был проведён ряд экспериментов по измерениям объёмной активности радона (с помощью прибора AlphaGUARD PQ-2000) и интенсивности  $\gamma$ -излучения на различных участках земной поверхности (гамма-спектрометр МКСП-01 НТЦ «РАДЭК»). Исследовалось влияние температурных инверсий и влагосодержания почвы на указанные величины. Метод наземного накопительного резервуара для радона [2] и аэростатное профилирование [3] объёмной активности радона с помощью установленного на инструментальной платформе датчика Radon Scout позволили определить характерные значения плотности потока радона с земной поверхности. В рамках эксперимента с экранированием гамма-спектрометра свинцовой пластиной выполнена оценка соотношения интенсивностей космического и грунтового гамма-излучения на уровне земной поверхности. На основе полученных результатов улучшены оценки интенсивности ионообразования в приземном слое атмосферы.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-17-00053) и государственного задания ГО «Борок» ИФЗ РАН № FMWU-2022-0025.*

### **Список литературы:**

1. Zvegvary T., Conen F., Stohlker U., Dubois G., Bossew P., De Vries G. Mapping terrestrial  $\gamma$ -dose rate in Europe based on routine monitoring data // Radiation Measurements. 2007. №42. P. 1561 – 1572;
2. Анисимов С.В., Галиченко С.В., Климанова Е.В., Прохорчук А.А., Афиногенов К.В. Вклад фотонной компоненты в ионизацию атмосферы радионуклидами земной коры и радиоактивными эманациями // Физика Земли. 2023. № 6. С. 245 – 258;
3. Anisimov S.V., Galichenko S.V., Aphinogenov K.V., Klimanova E.V., Prokhorchuk A.A., Kozmina A.S., Guriev A.V. Mid-latitude atmospheric boundary layer electricity: A study by using a tethered balloon platform // Atm. Res. 2020. V. 250, 105355.

## МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПОЛЕВОГО СЕЗОНА 2023 ГОДА

*Козьмина А.С.<sup>1</sup>, Климанова Е.В.<sup>1</sup>, Гурьев А.В.<sup>1</sup>, Галиченко С.В.<sup>1</sup>, Анисимов С.В.<sup>1</sup>, Ильин Н.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Геофизическая обсерватория «Борок» ИФЗ РАН, Борок

<sup>2</sup> Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, Н. Новгород

Измерительный комплекс, осуществляющий на полигоне ГО «Борок» ИФЗ РАН [58°04' N; 38°14' E] разнесённые наблюдения атмосферного электрического поля, концентрации ионов и аэрозольных частиц, объёмной активности радона, интенсивности гамма излучения, а также метеорологических величин и параметров турбулентности, в полевом сезоне 2023 года работал с 25 июля по 29 сентября.

Для проведения измерений температуры, компонент скорости ветра и ряда важных параметров, характеризующих режим устойчивости и турбулентности атмосферного пограничного слоя, используется ультразвуковая метеостанция «МЕТЕО-2Н». Временное разрешение метеостанции даёт возможность использовать 10 Гц данные для обработки. В наземном комплексе используются две метеостанции, которые могут устанавливаться на разных высотах и расстояниях друг от друга для сбора статистики и получения более детальной картины. Анализ вариабельности метеорологических переменных и статистических параметров турбулентности позволяет решать ряд задач, выполняемых нашей лабораторией [1-4].

В докладе представлены применяемые методы отбора, обработки и анализа данных натуральных наблюдений, результаты статистического анализа данных, используемые при разработке численных моделей электродинамики атмосферного пограничного слоя.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта № 22-17-00053 и государственного задания ГО «Борок» ИФЗ РАН № FMWV-2022-0025.*

### **Список литературы:**

1. Anisimov, S.V., Galichenko, S.V., Aphinogenov, K.V., Prokhorchuk, A.A., Kozmina, A.S., 2019. Turbulent electric current in the marine convective atmospheric boundary layer. Atmos. Res. 228, 86–94;
2. Mid-latitude atmospheric boundary-layer electricity: A study by using a tethered balloon platform / S. V. Anisimov, S. V. Galichenko, K. V. Aphinogenov, E. V. Klimanova, A. A. Prokhorchuk, A. S. Kozmina, A. V. Guriev. // Atmospheric Research. — 2021. — Vol. 250;
3. Anisimov S.V., Galichenko S.V., Aphinogenov K.V., Klimanova E.V., Kozmina A.S. Small air ion statistics near the earth's surface // Atmos. Res. 2022. V. 267. 105913;
4. С.В. Анисимов, К.В. Афиногенов, С.В. Галиченко, А.А. Прохорчук, Е.В. Климанова, А.С. Козьмина, А.В. Гурьев. Электричество невозмущённого атмосферного пограничного слоя средних широт // Известия РАН. Физика атмосферы и океана 2023. Т. 59, № 5 С. 1-18.

МОДЕЛЬ ПОВЕРХНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ  
 “ЧИГНИК” 29.07.2021 MW = 8.2 ПО ДАННЫМ СПУТНИКОВОЙ РАДАРНОЙ  
 ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ, ГНСС И СЕЙСМОЛОГИИ

*Конвисар А.М.<sup>1,2</sup>, Михайлов В.О.<sup>1</sup>, Волкова М.С.<sup>1</sup>, Смирнов В.Б.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН*

<sup>2</sup>*Физический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова*

Землетрясение магнитудой 8.2 произошло 29.07.2021 в районе Аляски недалеко от населенного пункта Чигник. В рамках данного исследования, используя радарные снимки со спутников Сентинель, методом дифференциальной интерферометрии DInSAR получены оценки полей смещений земной поверхности в направлении на спутник. Процесс определения смещений включал построение и фильтрацию парной интерферограммы, отражающей сдвиг по фазе радарного сигнала двух снимков, развертку фазы, состоящую в добавлении необходимого числа периодов, перевод развернутой фазы в значения смещений поверхности и геокодирование [1]. Смещения в направлении на спутник достигают 33 см при съемке с восходящей орбиты и 20 см – с нисходящей.

На основе решений фокального очага землетрясения, временных рядов смещений на пунктах GPS и данных о смещениях земной поверхности, рассчитанных по данным интерферометрии, определена геометрия поверхности сейсмического разрыва землетрясения “Чигник” и оценено поле смещений на ней. Для расчета использовалось полученное в работе [2] решение задачи теории упругости о напряжениях и деформациях в сферической радиально-расслоенной планете, в результате подвижки на расположенном в ней прямоугольном разрезе. Решение искалось под условием, что направление смещений на элементах поверхности разрыва близко к углу подвижки, определяемому по данным сейсмологии.

В построенной модели область сейсмического разрыва имеет протяжённость 225 км по простиранию, 126 км по падению, тип смещений – это практически чистый надвиг, а смещения, в целом, произошли по всей очаговой области. Максимальное смещение составило 5.7 м, а сейсмический момент, рассчитанный по полученным параметрам площадки и смещениям на ней, составил  $1.95 \times 10^{21}$  Н·м ( $M_w = 8.13$ ), что близко к оценкам USGS и GCMT, полученным по сейсмологическим данным. Модель показывает, что очаговая область землетрясения «Чигник» почти полностью перекрывается с очаговой областью землетрясения 1938 г. с магнитудой 8.2.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 23-17-00064, <https://rscf.ru/project/23-17-00064/>*

**Список литературы:**

1. Ferretti A. Satellite InSAR Data: Reservoir Monitoring from Space. Bunnik, Netherlands: EAGE Publications, 2014. 159 p. <https://doi.org/10.3997/9789073834712> ;
2. Pollitz F.F. Coseismic deformation from earthquake faulting on a layered spherical Earth // Geophys. J. Int. 1996. V. 125. № 1. P. 1–14. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1996.tb06530.x> .

# ОБНАРУЖЕНИЕ РАЗРЫВНЫХ СТРУКТУР ФУНДАМЕНТА В ЮЖНОЙ ЧАСТИ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА ПРИ ПОМОЩИ ГЕОРАДАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ КОРРЕЛЯЦИЯ С ЧЕТВЕРТИЧНЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ (НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА СРЕДНЕЕ ЛУВЕНЬГСКОЕ)

**Королева А.О.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*ИФЗ РАН, лаборатория сейсмической опасности (302)*

<sup>2</sup>*ИГ РАН, лаборатория геоморфологии*

На протяжении двух десятилетий на территории Фенноскандии активно ведутся работы по изучению постледниковой сеймотектонической активности. Палеосейсмологические исследования позволяют выявить потенциально опасные сейсмические зоны, получить представление об интенсивности и возрасте событий в прошлом, что позволяет скорректировать уже имеющиеся данные о сейсмической опасности региона. Работы в Карелии и на Кольском полуострове в последние годы осуществляются в тесном сотрудничестве ученых из ИФЗ РАН, ИГ РАН и КНЦ РАН. Целями исследований 2023 года были обнаружение и изучение различных палеосейсмодислокаций, которые прослеживаются как в породах кристаллического фундамента, так и в рыхлых четвертичных отложениях, что является важным признаком их новейшей активности. Работы проводились на 4 основных участках:

1. Приозерский район, озеро Боровское (западный берег Ладожского озера);
2. Памятник природы Щелейки (западный берег Онежского озера);
3. Озеро Колвицкое (Кольский полуостров);
4. Озеро Лувеньгское (Кольский полуостров).

Два участка в юго-западной части Кольского полуострова объединяет Имандра-Колвицкий разлом, характеризующийся многочисленными признаками постледникового обновления. Обнаруженная на пересечении этого разлома с низкогорным массивом Кандалакшских Тундр очаговая зона палеоземлетрясений является объектом изучения последних лет [1]. Ежегодно на протяжении последних 6 лет при непосредственном участии автора к комплексу работ прибавляются новые методы исследования. Так, во время полевого сезона 2023 года, впервые была проведена георадиолокационная съемка на суше и на акватории исследуемых участков. Также проводились геолого-геоморфологические и геодезические исследования.

В данной работе автором представлены первичные результаты георадарных исследований по последнему району работ. Геофизическая съемка проводилась при помощи георадара ОКО-3 антеннами 100, 250 и 400/900 МГц.

*Работа выполнена в рамках проекта РФФ №23-27-00205 «Влияние постледниковых блоковых движений кристаллического фундамента на деформации рельефа и рыхлых отложений восточной Фенноскандии» (рук. в.н.с. С.В. Шварев)*

Автор выражает благодарность научному руководителю группы Швареву С.В., а также Гуринову А.Л. и Комарову А.О. за помощь в проведении съемки.

### **Список литературы:**

1. Шварев С.В., Николаева С.Б., Королева А.О. Морфологические проявления постледниковой сейсмической активности Имандра-Колвицкого активного разлома в Лувеньгской очаговой зоне (Мурманская область) // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН, издательство ФГБУН ГИ КНЦ РАН (Апатиты), том 18, с. 425-429.

Докладчик: **Королева Александра Олеговна**, Научный сотрудник, kao@ifz.ru



ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ТЕОРИИ ЭФФЕКТИВНЫХ  
СРЕД ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ КОЛЛЕКТОРОВ УГЛЕВОДОРОДОВ ПО ДАННЫМ  
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СКВАЖИН

*Корочкин Г.М.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*ИФЗ РАН*

Цель данного исследования заключается в выделении необходимого и достаточного набора методов геофизических исследований скважин, применяемых для выделения коллекторов углеводородов, с применением машинного обучения и теории эффективных сред. Для достижения поставленной цели следует изучить применимость нейронных сетей, которые будут обучены на специально сгенерированном обширном наборе синтетических данных, для выделения коллекторов углеводородов при обработке фактических данных геофизических исследований скважин.

Основой данного исследования являются данные, полученные из открытых источников, геофизических исследований скважин, проведённых в бассейне Таранаки, находящемся в акватории Новой Зеландии. Данные включают в себя геофизические исследования, проведённые в более чем 400 скважинах, включающих в себя несколько месторождений нефти и газа. На данный момент идёт разработка автоматизированного алгоритма выделения коллекторов и определения их геофизических свойств на основании нескольких признаков. В дальнейшем будет создан обширный набор категоризованных данных для подготовки модели коллекторов. После обучения нейронной сети на синтетическом наборе данных, будут проведены пилотные работы по обработке фактических данных, результат которых будет верифицирован несколькими метриками.

*Список литературы:*

1. Alpana Bhatt, Hans B. Helle Committee neural networks for porosity and permeability prediction from well logs // Geophysical Prospecting, 2002, 50, 645-660;
2. Якименко Александр Александрович, Караваев Дмитрий Алексеевич, Морозов Антон Евгеньевич Опыт использования нейронной сети для определения местоположения и геометрических характеристик кавернозных включений // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2018. №4;
3. Хайретдинов Марат Саматович, Караваев Дмитрий Алексеевич, Якименко Александр Александрович, Антон Морозов ВОССТАНОВЛЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УПРУГИХ СРЕД С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ // Проблемы информатики. 2020. №3 (48);
4. Amir Mollajan, Hossein Memarian, Beatriz Quintal, Nonlinear rock-physics inversion using artificial neural network optimized by imperialist competitive algorithm, Journal of Applied Geophysics Volume 155, 2018, Pages 138-148, ISSN 0926-9851;
5. Parra, Jorge & Iturraran-Viveros, Ursula & Parra, Jonathan & Pei-Cheng, & Xu, Pei-Cheng. (2015). Attenuation and velocity estimation using rock physics and neural network methods for calibrating reflection seismograms. Interpretation. 3. SA121. 10.1190/INT-2014-0175.1.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЮЖНОЙ ЧАСТИ КАМЧАТСКОГО ПОЛУОСТРОВА

**Котов А.Н.<sup>1</sup>, Тоцов С.А.<sup>1</sup>, Нуждаев И.А.<sup>2</sup>, Преснов Д.А.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория фундаментальных проблем экологической геофизики и вулканологии (703)*

<sup>2</sup>*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН*

Изучение и разведка Камчатских геотермальных месторождений является весьма перспективной задачей. В настоящее время они обширно используются как источники электрической энергии, на близлежащих территориях построено и введено в эксплуатацию несколько геотермальных электростанций [1]. Также на территории южной части Камчатского полуострова пробурено большое количество скважин для добычи термальных вод в хозяйственных и курортно-оздоровительных целях.

На территории южной части полуострова Камчатка, при помощи специализированных сейсмических станций, были проведены сейморазведочные работы с целью уточнения строения гидротермальных систем, механизмов динамики глубинных термальных флюидов, а также выявления глубин залегания зон их разгрузки [2]. Работы проводились на территории группы Паужетских термальных полей, вблизи пос. Паужетка, а также на территории южной группы Камбальных термальных полей Камбального вулканического хребта, входящих в состав Паужетской вулканотектонической депрессии, расположенной в зоне сочленения Южно-Камчатского прогиба и Ункановичского горста [3].

По результатам проведённых изысканий построен глубинный микросейсмический разрез по региональному профилю длиной более 20 км [4, 5].

### **Список литературы:**

1. *Нуждаев И. А., Рычагов С. Н., Феофилактов С. О., Денисов Д. К.* Особенности магнитного поля геотермальных систем Паужетского района (Южная Камчатка) // *Вулканология и сейсмология*. 2023. № 2. С. 33-51;
2. *Котов А. Н., Агibalов А. О., Сенцов А. А.* Низкочастотное шумовое загрязнение северо-восточной части пос. Мосрентген (г. Москва) // *Геофизические приборы и биосфера*. 2023. Т. 22. № 2. С. 109-121;
3. *Феофилактов С. О., Рычагов С. Н., Логинов В. А., Букатов Ю. Ю., Нуждаев И. А., Клементьев М. А., Денисов Д. К.* Глубинное строение района Паужетской гидротермальной системы (Южная Камчатка) // *Вулканология и сейсмология*. 2021. № 1. С. 40-56;
4. *Жостков Р. А., Преснов Д. А., Собисевич А. Л.* Развитие метода микросейсмического зондирования // *Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле*. 2015. № 2. С. 11-19;
5. *Собисевич А. Л., Преснов Д. А., Тубанов Ц. А., Черемных А. В., Загорский Д. Л., Котов А. Н., Нумалов А. С.* Байкальский сейсмоакустический эксперимент // *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*. 2021. Т. 496. №. 1. С. 82-86.

СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ХУБСУГУЛЬСКОЙ  
РИФТОВОЙ ВПАДИНЫ В РАЙОНЕ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ 12.01.2021, MW=6.7  
(СЕВЕРНАЯ МОНГОЛИЯ)

*Кошевой Н.Г.<sup>1</sup>, Овсяченко А.Н.<sup>1</sup>, Бутанаев Ю.В.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*ИФЗ РАН Лаборатория методов прогноза землетрясений*

<sup>2</sup>*ТувИКОПР РАН*

Интерес в изучении сейсмотектоники озера Хубсугул возник в результате произошедшего 12 января 2021 года Хубсугульского землетрясения, магнитудой 6.7. Данное землетрясение является самым крупным по силе событием во всём Прихубсугулье за инструментальный период наблюдений [2]. Хубсугульская впадина относится к юго-западной части Байкальской рифтовой зоны и представляет собой полуграбен с крутым западным и более пологим восточным бортами. Впадина развивается в условиях растяжения в северо-западном направлении с правосторонней сдвиговой кинематикой [1].

В августе 2022 г. нами было выполнено полевое сейсмотектоническое исследование очаговой зоны землетрясения. В месте сгущения вторичных нарушений был обнаружен выход очага землетрясения на поверхность – сейсмотектонический разрыв, представленный правосторонним сбросо-сдвигом со смещением до 20 см в вертикальной и столько же в горизонтальной плоскости. Район очаговой зоны землетрясения 2021 г. был изучен структурно-геоморфологическими методами. При этом были построены и проанализированы структурно-геоморфологические профили, на которых выделено 13 геоморфологических уровней. Дистанционные исследования района с помощью построения и анализа структурно-геоморфологических профилей позволили проследить стадийность развития структуры за неотектонический этап. По данным радиоуглеродного датирования за последние  $1139 \pm 33$  лет произошло 4 подвижки (включая 2021 г.) с суммарной величиной вертикального смещения 70 см. Соответственно скорость сейсмотектонических смещений составила 0.6 мм/год.

*Исследования выполнено в рамках гранта РФФ № 22-17-00049*

**Список литературы:**

1. Аржанникова А.В., Парфеевец А.В., Саньков В.А., Мирошниченко А.И. Позднекайнозойская кинематика активных разломов Хубсугульской впадины (юго-западный фланг Байкальской рифтовой системы) // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 11. С. 1202–1224;
2. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Чечельницкий В.В., Шевкунова Е.В., Радзиминович Я.Б., Фатеев А.В., Кобелева Е.А., Гладышев Е.А., Арапов В.В., Артемова А.И., Подкорытова В.Г. Хубсугульское землетрясение, 12.01.2021г. MW=6.7, ML=6.9 // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тезисы VX Международной сейсмологической школы. 2021. С. 39.

## ИЗМЕРЕНИЕ УСКОРЕНИЙ В ШИРОКОМ АМПЛИТУДНОМ И ЧАСТОТНОМ ДИАПАЗОНАХ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЗЛОМОВ

*Краюшкин Д.В., Казначеев П.А., Кох В.В., Майбук З.-Ю.Я., Пономарев А.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория физики землетрясений и неустойчивости горных пород (301)*

При проведении исследований движений типа стик-слип на лабораторной слайдер-модели разлома важно иметь полное представление об ускорениях, появляющихся в момент различного типа воздействия на установку. Таким образом, система захвата данных должна учитывать широкий амплитудный и частотный диапазон. В ходе предыдущих исследований было выявлено [1], что использование одного аналогового пьезоэлектрического акселерометра недостаточно, чтобы полностью количественно охарактеризовать все движения. Акселерометр вводился в насыщение при высокоамплитудных и быстрых движениях, а медленные и слабые движения могли быть совсем не обнаружены.

В рамках данной работы были проведены эксперименты с различными параметрами ударного воздействия, ускорения которого регистрировалось различными типами акселерометров. Основной задачей экспериментов было выявление возможности использования данных с нескольких типов акселерометров для получения параметров ускорения движения на модели разлома. Для проведения исследования использовались малоамплитудные и высокоамплитудные цифровые и аналоговые акселерометры. Нормирование данных с аналоговых датчиков производилось усилителем ZETLAB ZET440, а для цифровых – системой регистрации на основе микроконтроллера STM32F303VST6 с собственным программным обеспечением, разработанным в лаборатории.

Эксперименты показали, что совместное использование цифровых и аналоговых акселерометров может помочь получить более полную информацию об процессах, протекающих при лабораторном моделировании движений по разломам.

### **Список литературы:**

1. *Казначеев П.А., Майбук З.-Ю.Я., Пономарев А.В., Соболев Г.А., Кох В.В., Краюшкин Д.В.* Оценка энергии подвижки в экспериментах типа стик-слип // Триггерные эффекты в геосистемах. М.: ИДГ РАН, 2022. С. 181.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАКЛОНОВ МОРСКОГО ДНА ДОННЫМИ  
ИНКЛИНОМЕТРАМИ (МЕСТОРОЖДЕНИЕ ИМ. В. ФИЛАНОВСКОГО)

*Кузьмин Д.К.*

*ИФЗ РАН, Лаборатория современной и прикладной геодинамики (201)*

Анализ результатов инклинометрических измерений на месторождениях Северного Каспия показал, что наклоны, измеренные на донных станциях, сильно отличаются от данных платформенных инклинометров [5, 6]. Для оценки деформаций дна моря в месте расположения инклинометров, был определен промежуток времени «скачкообразного» изменения пластового давления, а также дифференцы донных станций за этот период. Моделирование градиентов смещений аналитическим методом в рамках модели с пороупругим шаровым включением [1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10] подтвердило противофазные показания двух инклинометров, которые расположены с разных сторон зоны аномальной деформационной активности, обусловленной закачкой жидкости в пласт.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИФЗ РАН за 2023 г.*

**Список литературы:**

1. Гатиятуллин Р.Н., Кузьмин Д.К., Фаттахов Е.А. Анализ результатов многолетних геодезических наблюдений на месторождении сверхвязкой нефти, Юго-Восток Татарстана // Наука и технологические разработки. 2021. Т.100. №4. С. 5-24;
2. Жуков В.С., Кузьмин Д.К. Оценка влияния разработки Чаядинского месторождения на просадки земной поверхности // Геофизические процессы и биосфера. 2023. Т.22. № 1. С. 73-84;
3. Kuzmin D.K., Kuzmin Yu.O., Zhukov V.S. Assessment of ground surface subsidence during Chayanda field development with regard to changes in petrophysical parameters of oil and gas reservoirs // Eurasian Mining. 2022. № 2 (38). С. 11-15;
4. Абрамян Г.О., Кузьмин Д.К., Ломоносов М.Д. Анализ современных деформационных процессов на газонефтяном месторождении Центральной Азии. // Наука и технологические разработки. 2022. Т. 101. № 3. С. 20-32;
5. Кузьмин Ю. О., Децеровский А. В., Фаттахов Е. А., Кузьмин Д. К., Казаков А. А., Аман Д. В. Инклинометрические наблюдения на месторождении им. Ю. Корчагина // Геофизические процессы и биосфера. 2018. Т. 17. №2. С. 95 – 110;
6. Кузьмин Ю.О., Децеровский А.В., Фаттахов Е.А., Кузьмин Д.К., Казаков А.А., Аман Д.В. Анализ результатов деформационных наблюдений системой инклинометров на месторождении им. В. Филановского // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т. 18, № 4. С. 86–94;
7. Кузьмин Ю. О. Современная аномальная геодинамика недр индуцированная малыми природно-техногенными воздействиями // Горный информационно - аналитический бюллетень (научно-технический журнал). М.: МГГУ. N 9. 2002, С. 48-55;
8. Кузьмин Ю. О. Деформационные последствия разработки месторождений нефти и газа // Геофизические процессы и биосфера. 2021. Т. 20, № 4. С. 103-121;
9. Кузьмин Ю. О. Современные объемные деформации разломных зон // Физика Земли. 2022. № 4. С. 3-18;
10. Кузьмин Ю. О. Физические основы современной геодинамики // Геофизические процессы и биосфера. Т. 22. № 2. С. 5-58.

Докладчик: **Кузьмин Дмитрий Кузьмич**, младший научный сотрудник, dimak1292@mail.ru

## ПАЛЕОМАГНИТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАПИСИ ИНВЕРСИИ МАТУЯМА-БРЮНЕС В ЛЁССОВО-ПОЧВЕННЫХ СЕРИЯХ ТАДЖИКИСТАНА

*Кулакова Е.П.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория главного геомагнитного поля и петромагнетизма (105)*

<sup>2</sup>*Институт археологии и этнографии СО РАН*

Инверсия Матуяма-Брюнес (М/Б) является важным хроностратиграфическим репером четвертичных архивов для их корреляций между собой. Ее точное положение и характер записи используется как в хронологических целях, так и помогает изучить механизмы фиксации палеомагнитного сигнала осадочной толщей.

Детальному изучению с шагом каждые 2 см подверглись два интервала, где обнаружена инверсия М/Б, в разрезах Кульдара и Хонако-II, находящихся на удалении 16,5 км друг от друга в Ховалингском районе Южного Таджикистана. Каждый интервал мощностью около 5 м был непрерывно отобран и распилен с получением ~250 стратиграфических уровней, для каждого из которых были получены минимум 5 образцов-дублей для исследования. Образцы были подвергнуты магнитной чистке как температурой, так и переменным полем. Полученные палеомагнитные характеристики являются средним по образцам-дублям. Также для изучаемых интервалов была определена относительная палеонапряженность двумя способами: нормированием NRM на магнитную восприимчивость и взятием отношения  $\Delta NRM / \Delta ARM$  в интервале полей, где выделяется характеристическая компонента намагниченности.

По результатам нашего детального изучения записи инверсия Матуяма-Брюнес в разрезах Кульдара и Хонако-II были сделаны следующие выводы:

1) Переход занимает в разрезах интервал мощностью почти 3 м, отличающийся аномальным поведением записи по сравнению с зонами стабильной полярности.

2) Запись перехода характеризуется минимумом значений относительной палеонапряженности, суммарным уменьшением величины намагниченности и худшей степенью магнитного упорядочения образцов из одного уровня.

3) Граница М/Б, определяемая как окончание аномальных направлений, свойственных для переходной зоны, обнаруживается в основании педокомплекса 9, а не в толще лёсса под ним [1], что впервые надежно устанавливается для Таджикистана. Это верифицирует правильность устоявшихся на данный момент возрастных корреляций разрезов Таджикистана с изотопно-кислородной шкалой [2].

4) Тем не менее, имеются свидетельства сложного механизма фиксации палеомагнитного сигнала лёссово-почвенными сериями с довольно существенным запаздыванием, что приводит к заниженному (более, чем на 1 м) положению границы М/Б в том же педокомплексе. Это также приводит к различному характеру записи инверсии в изученных двух разрезах.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 22-18-00568).*

### **Список литературы:**

1. Пеньков А.В., Гамов Л.Н. Палеомагнитные реперы в плиоцен-четвертичных толщах Южного Таджикистана // В: Граница неогена и четвертичной системы. М.: Наука. 1980. С. 184-189;
2. Forster Th., Heller F. Loess deposits from the Tajik depression (Central Asia): Magnetic properties and paleoclimate // Earth and Planetary Science Letters. 1994. V. 128. P. 501-512.

Докладчик: Кулакова Екатерина Петровна, н.с., ek.kula@yandex.ru

## ВЛИЯНИЕ НЕУПРУГОСТИ НА МОДЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ЧАНДЛЕРОВСКОГО ПЕРИОДА МАРСА

**Кулик Е.А.<sup>1,2</sup>, Гудкова Т.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)*

<sup>2</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория происхождения, внутреннего строения и динамики Земли и планет (102)*

Чандлеровское колебание (ЧК) Марса было впервые обнаружено из наблюдений в радиодиапазоне аппаратами Mars Odyssey, Mars Reconnaissance Orbiter и Mars Global Surveyor. ЧК выступает в качестве меры деформации планеты на длинных периодах. Его модельное значение определяется главным образом температурой, реологией и составом мантии.

В качестве ограничений для моделей внутреннего строения Марса мы используем измеряемые геодезические параметры: массу, средний радиус, момент инерции и число Лява  $k_2$ , а также значения, полученные из сейсмического эксперимента: толщину, плотность коры и радиус ядра [1-3]. Модели внутреннего строения построены при использовании метода из [4] и основаны на химической модели Wanke-Dreibus [5].

При интерпретации значения  $k_2$  требуется знание реологических свойств недр планеты, которые точно не определены даже для Земли. Используя реологию Андраде, мы получили значение приливного числа Лява для пробных значений вязкости недр Марса. Показана зависимость числа Лява  $k_2$  от параметра Андраде.

Период ЧК был рассчитан для ряда тестовых моделей внутреннего строения Марса. Неупругое поведение мантии понижает жесткость мантии и ведет к увеличению числа Лява  $k_2$ . В результате этого, период ЧК увеличивается на несколько дней по сравнению с упругими моделями. Полученное из наблюдений значение периода ЧК выступает дополнительным ограничением на распределение упругих параметров недр планеты.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-22-00074, <https://rscf.ru/project/23-22-00074>.*

### **Список литературы:**

1. Knapmeyer-Endrun B., Panning M.P., Bissig F. et al. Thickness and structure of the Martian crust from InSight seismic data // Science. 2021. V. 373. P. 438-443;
2. Wieczorek M.A., Broquet A., McLennan S.M. et al. InSight constraints on the global character of the Martian crust // Journal of Geophysical Research: Planets. 2022. V. 127. e2022JE007298;
3. Stähler S.C., Khan A., Banerdt W.B. et al. Seismic detection of the Martian core // Science. 2021. V. 373. P. 443-448;
4. Жарков В.Н., Гудкова Т.В. Построение модели внутреннего строения Марса // Астрономический вестник. 2005. Т. 39. №5. С. 1-32;
5. Dreibus G., Wanke H. Mars, a volatile-rich planet // Meteoritics. 1985. V. 20. P. 367-381.

## О ПРИМЕНЕНИИ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА СКВАЖИННЫХ ИМИДЖАХ.

*Куприн Д.Ю., Дубиня Н.В.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория фундаментальных проблем нефтегазовой геофизики и геофизического мониторинга (202)*

Расширенный комплекс геофизических исследований включает в себя, помимо прочих исследований, определение свойств пород околоскважинной зоны в различных азимутальных направлениях. Интерпретация скважинных имиджей, результатов этих исследований, зачастую проводится вручную, что связано с риском ошибочного выделения, невыделения или некорректного выделения отдельных структурных элементов на скважинном имидже.

Решением данной проблемы является применение алгоритма автоматизированной интерпретации скважинных имиджей, основанного на методах компьютерного зрения и нейронных сетях. На данном этапе работ алгоритм нацелен, в первую очередь, на выделение таких структурных элементов как отдельные естественные и техногенные трещины секущие ствол скважины, представленные на скважинном имидже характерными геометрическими образами.

Для возможности обработки скважинного имиджа алгоритмами компьютерного зрения необходима предобработка проводящаяся в два этапа. Первоначально имидж сглаживается, далее на нём выделяются участки, не содержащие трещин. Выделение трещин происходит посредством прохода по участкам скважинного имиджа, вероятно содержащим искомые структурные элементы, скользящего окна и применения «ансамбля» методов компьютерного зрения состоящего из оператора Кэнни[1], оператора Собеля[2], обобщённого преобразования Хафа[3], подходов основанных на бинаризации методом Оцу[4], а также нейронной сети. После окончания работы ансамбля, результаты его работы обрабатываются и оптимизируются в синусоиду, описывающую геометрические характеристики выделенной трещины. Полученные кривые далее кросс-валидируются и отбраковываются по нескольким параметрам.

После получения кривых, описывающих геометрические характеристики трещин, проводятся оценки достоверности выделения, включающие в себя статистический анализ и обработку нейронной сетью.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания ИФЗ РАН в ходе реализации программы «Научное Наставничество ИФЗ РАН».*

### **Список литературы:**

1. *J. Canny*. A computational approach to edge detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. V. PAMI-8. P. 679-698;
2. *I. Sobel, G. Feldman*. A 3×3 isotropic gradient operator for image processing // Pattern Classification and Scene Analysis. 1973. P. 271-272;
3. *D.H. Ballard*. Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes // Pattern Recognition. 1981. V. 13. P. 111-122;
4. *N. Otsu*. A threshold selection method for gray-level histograms // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 1979. V. 9. P. 62-66.

Докладчик: **Куприн Даниил Юрьевич**, аспирант ИФЗ РАН, kuprin.daniil.geo@gmail.com



## ДЕШИФРИРОВАНИЕ ЗОН ДЕФОРМАЦИЙ ОСНОВАННЫЙ НА ДАННЫХ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ И КАРТ ВЫСОТ

*Малышкин Т.Е.<sup>1</sup>, Гордеев Н. А.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>МИГАиК, Геодезический факультет, группа 2022-ГФ-ГиДЗкгин-16  
<sup>2</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория фундаментальных и прикладных проблем тектонофизики  
(204)*

Технологии обработки данных космических съемок тесно вошли в методику решения задач геологии и геофизики. Применение методов тематической классификации растровых изображений на основе технологий машинного обучения и компьютерного зрения позволяют однозначно идентифицировать конкретные объекты и явления в пространстве. Данные программные решения основаны на открытых библиотеках языка программирования Python.

Целью нашей работы является разработка метода дешифрирования зон деформаций на данных мультиспектральной съемки и карт высот.

Разрабатываемая методика выявления напряженных зон работает путем анализа данных мультиспектральной съемки среднего (30м/pix) пространственного разрешения территории горного Алтая с космического аппарата «Landsat-8/9». Методика основана на визуально-тематическом дешифрировании композитного многоканального изображения, получаемого в результате обработки данных коротковолновой инфракрасной съемки. По результатам визуального анализа и создания математического обоснования распределения зон напряженностей была разработана модель обучаемой управляемой классификации растровых изображений на поиск зон напряженностей. По результатам анализа сходство детектированных объектов с их истинным расположением составила 80%.

По результатам исследования очевидно, что использование космической съемки позволяет детальнее, в отличие от геологических и топографических карт, восстанавливать линеаментные сети, т.к. результаты съемок имеют большую частоту обновления данных, а также крупный масштаб.

Описанная в работе технология имеет следующие направления дальнейшего развития и применения:

1) анализ многоканальных космических снимков, включающих в себя данные съемки в инфракрасном и синем спектральных диапазонах, позволяет точно выделять участки обводненности, которые, в свою очередь, свидетельствуют о наличии нарушений, косвенно подтверждающих присутствие зоны разрывной деформации;

2) внедрение инфракрасной съемки также возможно на платформе беспилотных летательных аппаратов. Это позволит снимать поверхность Земли с дециметровым пространственным разрешением и детальнее изучать зоны разрывных деформаций.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИФЗ РАН.*

## ВЛИЯНИЕ ЗАКАЧКИ ФЛЮИДА НА ЭВОЛЮЦИЮ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА

*Малютин П.А.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*ИТПЗ РАН, Лаборатория теории прогноза и георисков (№1)*

<sup>2</sup>*МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет*

Закачка флюида вызывает перераспределение давления в районе скважины. Это может вызвать изменение сейсмического режима, который на разных этапах инжекции может меняться по-разному. В данной работе методом ближайшего соседа [1] по каталогам [2,3,4] эксперимента по созданию ГЦС в Сульц-су-Форе (Франция) и действующего геотермального месторождения в районе Гейзеров (США) исследуются кластеры сейсмичности на начальном и установившемся этапах закачки флюида.

Для эксперимента в Сульц-су-Форе одногорбое распределение можно объяснить отсутствием сформировавшихся кластеров сейсмичности, в которых могут наблюдаться связанные события. Для подтверждения данной гипотезы могут быть полезны данные после гидроразрыва пласта (ГРП) в данном эксперименте.

Малость горба кластеризованных событий в районе Гейзеров объясняется тем, что, в отличие от эксперимента в Сульц-су-Форе, сформировавшиеся структуры уже имеются, но, по-видимому, не могут сравниться по относительному размеру с кластерами «обычной» сейсмичности.

«Трехгорбые» распределения в Северной Калифорнии ещё раз доказывают удобство функции близости и метода ближайшего соседа для выявления кластеров сейсмичности. С их помощью можно находить сейсмические режимы различной природы и масштабов в пределах одного региона, используя, по сути, только каталог землетрясений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 20-17-00180-П.*

**Список литературы:**

1. *Baiesi M., Paczuski M.* Scale-free networks of earthquakes and aftershocks //Physical review E. – 2004. – Т. 69. – №. 6. – С. 066106;
2. *Waldhauser F., Schaff D. P.* Large-scale relocation of two decades of Northern California seismicity using cross-correlation and double-difference methods //Journal of Geophysical Research: Solid Earth. – 2008. – Т. 113. – №. В8;
3. *Waldhauser F.* Near-real-time double-difference event location using long-term seismic archives, with application to Northern California //Bulletin of the Seismological Society of America. – 2009. – Т. 99. – №. 5. – С. 2736-2748. 29;
4. *Смирнов В. Б., Пономарёв А. В.* Физика переходных режимов сейсмичности. – 2020.

## НОВЕЙШИЕ СТРУКТУРЫ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ГОРНОГО АЛТАЯ

*Мануилова Е.А.**ИФЗ РАН, Лаборатория фундаментальных и прикладных проблем  
тектонофизики (204)*

В конце мела и палеогене на территории Горного Алтая происходила пенеplanation рельефа [1]. Наиболее контрастные движения, приведшие к формированию современного рельефа, произошли в неогене-антропогене [2]. Это же время связывают с началом неотектонического этапа на данной территории [3]. В связи с этим, целью исследования являлось выделение новейших структур и их геодинамической обстановки формирования. Для этого проведено визуальное структурно-геоморфологическое дешифрирование рельефа [4]. В ходе работы использовались топографические карты (1:500 000), цифровая модель рельефа, построенная по данным SRTM, космические снимки с сервера ArcGis Online, геологические, тектонические и другие картографические и геологические материалы.

В результате построена структурно-геоморфологическая карта юго-восточной части Горного Алтая и серия геоморфологических профилей. На карте показаны новейшие структуры, выраженные в современном рельефе: региональные и локальные поднятия и впадины, слабые зоны и новейшие разрывы (в том числе и со сдвиговой составляющей). Своды новейших поднятий сложены дочетвертичными породами, делювиальными и солифлюкционными отложениями среднего-верхнего неоплейстоцена. В пределах новейших впадин присутствуют гляциальные отложения чуйского горизонта среднего неоплейстоцена, аллювиальные и коллювиально-деллювиальные осадки верхнего неоплейстоцена-голоцена. Основными простираниями слабых зон и новейших разрывов являются северо-западное, северо-восточное и субширотное. По системе новейших разрывов северо-западного простирания с правосдвиговой составляющей и северо-восточного простирания с левосдвиговой составляющей выявлено направление оси горизонтального сжатия, которое изменяется от север-северо-западного до север-северо-восточного.

В результате проведенной работы выявлены новейшие структуры юго-восточной части Горного Алтая и установлено направление оси горизонтального сжатия.

*Исследование выполнено в рамках госзадания Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук.*

**Список литературы:**

1. Добрецов Н.Л., Буслов М.М., Василевский А.Н., Ветров Е.В., Неведрова Н.Н. Эволюция кайнозойского рельефа юго-восточной части Горного Алтая и ее отображение в структурах геоэлектрического и гравитационного полей // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 11. С.1937–1948. <https://doi.org/10.15372/GiG20161101>;
2. Добрецов Н.Л., Берзин Н.А., Буслов М.М., Ермиков В.Д. Общие проблемы эволюции Алтайского региона и взаимоотношения между строением фундамента и развитием неотектонической структуры // Геология и геофизика. 1995. Т. 36, № 10. С.5–19;
3. Новиков И.С. Морфотектоника Алтая. Новосибирск: СО РАН, 2004. 313 с.;
4. Костенко Н. П. Геоморфология. М.: Изд. МГУ, 1999. 379 с.

## СЕЙСМОРАЗВЕДКА КАК МЕТОД ОЦЕНКИ ПЛАСТИЧНОСТИ ГРУНТОВ В ЗАДАЧАХ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ

*Марятов А.К.<sup>1</sup>, Алёшин А.С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория методов прогноза землетрясений (702), аспирант

<sup>2</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория сейсмотектоники и сейсмического микрорайонирования (701), д. ф.-м. н., главный научный сотрудник

Сейсморазведка является эффективным методом изучения строения и свойств горных пород и грунтовых массивов, что позволяет использовать её при решении задач инженерной геологии. Наиболее активно сейсморазведка применяется при решении задач сейсмического микрорайонирования (СМР). Однако, недостаток сейсморазведочных методов состоит в том, что в них изучаются деформации порядка  $10^{-5}$ , тогда как при сильных землетрясениях, деформации достигают значений порядка  $10^{-2}$ . При таких больших деформациях свойства грунта резко изменяются и данные, полученные исключительно сейсморазведочными методами, не дадут актуальных свойств грунтов для исследуемых деформаций.

В задачах инженерной геологии и СМР сейсморазведка имеет преимущество в скорости выполнения полевых исследований и скорости оценки свойств грунта до начала бурения и лабораторных испытаний. Скорости распространения продольных и поперечных волн могут быть использованы для оценки деформационных и прочностных характеристик грунтов, вязкости и других параметров [1]. Однако, в силу несовершенства методик инженерной геологии и геофизики, наилучшие результаты в оценке свойств грунтов дают не данные лишь одного метода, а корреляционные статистические зависимости между данными методов инженерной геологии и сейсморазведки. Корреляционная зависимость между модулем деформации и скоростью сдвиговых волн уже входит в норматив СП 283.1325800.2016 [2].

В данной работе авторы стремятся расширить количество используемых в практике СМР корреляционных зависимостей. Главной целью работы является разработка метода оценки числа пластичности грунта по соотношению скоростей распространения продольных и поперечных волн и дальнейшее включение нового метода в регулярную практику СМР на новых строящихся объектах различного уровня ответственности.

### **Список литературы:**

1. Миндель И.Г., Севостьянов В.В., Трифонов Б.А., Рагозин Н.А. Особенности изучения деформационно-прочностных свойств дисперсных грунтов сейсмоакустическими методами// Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология. 2016, № 5, с. 461-476;
2. Алёшин А.С. Континуальная теория сейсмического микрорайонирования. М.: Научный мир. 2017. 300 с.

## ПРОВЕРКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАКОНА ПРОДУКТИВНОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

*Маточкина С.Д.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики РАН*

<sup>2</sup>*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

В данной работе проводится проверка выполнения закона продуктивности землетрясений [1] в лабораторных условиях.

Для анализа были выбраны две серии экспериментов: серия АЕ (АЕ36, АЕ39, АЕ42) – в ходе лабораторных исследований цилиндрические образцы, изготовленные из гранита, деформировались одноосной нагрузкой в условиях постоянного всестороннего сжатия (Лаборатория трения горных пород (Rock friction laboratory, USGS, Menlo Park, USA)) [2], серия ВS (ВS02, ВS03) - эксперименты с обводненными образцами песчаника, проведенными в Лаборатории геомеханики и реологии (GFZ, Potsdam) [3].

Выявлено, что для событий акустической эмиссии в рассмотренных образцах характерно одномодальное распределение функции близости [4] до ближайшего соседа [5], что говорит о том, что функция близости группированных событий мало отличается от функции для независимых событий.

Показано выполнение закона продуктивности землетрясений в лабораторных условиях, говорящее о подобии природы афтершоковых событий в лабораторных условиях природе реальных землетрясений.

*Автор выражает особую благодарность В.Б. Смирнову и А.В. Пономареву за предоставленные данные и консультации по особенностям лабораторных экспериментов, в которых они получены, а также П.Н. Шебалину за постоянное внимание к работе.*

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках гранта 20-17-00180-П.*

### **Список литературы:**

1. *Shebalin, P.N., Narteau, C., Baranov, S.V.* Earthquake productivity law // *Geophysical Journal International*. 2020. 222. 2. P. 1264–1269;
2. *Смирнов В.Б., Пономарев А.В.* Физика переходных режимов сейсмичности. Москва: РАН, 2020. С. 252-258;
3. *Смирнов В. Б., Пономарев А. В., Станчиц С. А., Потанина М. Г., Патонин А. В., Dresen G., Narteau C., Bernard P., Строганова С. М.* Лабораторное моделирование афтершоковых последовательностей: зависимость параметров Омори и Гутенберга–Рихтера от напряжений // *Физика земли*. 2019. № 1. С. 149–165;
4. *Baiesi, M. & Paczuski, M.* Scale-free networks of earthquakes and aftershocks // *Phys. Rev. E*. 2004. 69. 066106;
5. *Zaliapin, I., Gabrielov, A., Keilis-Borok, V., Wong, H.* Clustering analysis of seismicity and aftershock identification // *Phys. Rev. Lett.* 2008. 101. 1. 018501.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КРУПНОЙ ДАЙКИ НА НАПРЯЖЁННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕРХНЕЙ КОРЫ

*Мягков Д.С.<sup>1</sup>, Ребецкий Ю.Л.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория фундаментальных и прикладных проблем тектонофизики (204)*

В работе методом численного моделирования исследуется вопрос о характере и стадиях перестройки напряжённо-деформированного состояния Земной коры при внедрении крупного интрузивного тела типа дайки. Несмотря на многочисленные работы по моделированию, как физического [1], так и математического [2], основное внимание уделялось изучению условий внедрения даек и напряжённому состоянию непосредственно вблизи интрузии, вопрос о влиянии на общее напряжённое состояние коры детально не исследовался. На примере представленных в исследовании моделей показано, что внедряющаяся дайка (либо система даек) способна перестроить напряжённое состояние в окружающих породах на расстоянии более 2-3 вертикальных размеров интрузии. Генерируемые нормальные напряжения только на поверхности могут достигать 200 и более МПа.

Для численного расчёта применялась явная конечно-разностная схема, разработанная Уилкинсом для исследования упруго-пластических тел и усовершенствованная Стефановым [3]. Тела модели рассматриваются как упрочняющиеся упруго-пластичные с законом пластического течения Друкера-Прагера-Николаевского для коры и жидкие для магмы интрузии. Моделирование проводилось в 2D постановке. Модель представляет собой континентальную Земную кору, мощностью 40 км с внедряющейся от подошвы интрузией. Моделирование проводилось поэтапно, перед внедрением интрузии среда перед концом дайки постепенно переводилось в жидкое состояние, после чего нагнеталось давление, соответствующее уровню давления магматического очага с поправкой на высоту над ним. При моделировании варьировались как давление в магматическом очаге, так и плотность магмы. Результаты моделирования выявили область значений параметров очага, при которых происходит запираение дайки в верхней коре, или, напротив, выход на поверхность. Показано, что при плотности выше окружающих пород запираение дайки возможно даже при высоких значениях давления в очаге. Представлена структура напряжённого состояния для случая запертой, незапертой дайки, системы даек одинаковых либо различных типов.

*Работа выполнена в рамках госзадания ИФЗ РАН.*

### **Список литературы:**

1. Rivalta, E., Taisne, B., Bungler, A. P., Katz, R. F.: A review of mechanical models of dike propagation: Schools of thought, results and future directions // *Tectonophysics*, 2015. V. 638, pp. 1-42;
2. D. Kühn, T. Dahm, Numerical modelling of dyke interaction and its influence on oceanic crust formation, *Tectonophysics*, Volume 447, Issues 1–4, 2008, Pages 53-65;
3. Стефанов Ю.П. Некоторые особенности численного моделирования поведения упруго-хрупкопластичных материалов // *Физ. мезомех.* 2005. Т. 8. - № 3. С. 129-142.

АНАЛИЗ НЕКОТОРЫХ ВОПРОСОВ РЕКОНСТРУКЦИИ НАПРЯЖЁННОГО  
СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ПО ДАННЫМ О ЕСТЕСТВЕННОЙ  
ТРЕЩИНОВАТОСТИ

*Новикова Е.В.<sup>1,2,3</sup>, Дубиня Н.В.<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup>ИДГ РАН

<sup>2</sup>ИФЗ РАН

<sup>3</sup>МФТИ

В рамках работы рассматривается один из методов реконструкции напряженно-деформированного состояния горных пород [3, 4], который основан на анализе естественной трещиноватости исследуемого горного массива [1]. Представленный метод базируется на концепции «критически напряженных трещин», которые характеризуются повышенными проводящими свойствами [2], то есть предполагается существование взаимосвязи между напряженным состоянием и флюидопроводимостью. Такой подход позволяет сформулировать и решить обратную задачу, заключающуюся в оценке параметров напряженного состояния по известным данным о флюидопроводимости трещин.

В рамках исследования показаны результаты применения описанного метода к реальным данным, их достоверность проверена путем сравнения с независимыми оценками, полученными стандартными методами анализа скважинных данных для оценки напряженно-деформированного состояния породы. Также была выявлена необходимость анализа чувствительности решения обратной задачи к зашумлению исходных данных о флюидопроводимости естественных трещин сдвига. Такое исследование было проведено с использованием синтетической модели трещиноватости.

В ходе исследования было выявлено, что направление действия минимального главного напряжения является наиболее точно реконструируемым параметром, а также что незначительное искусственное зашумление исходных данных о трещиноватости не ведет к резкому ухудшению точности решения обратной задачи

*Работа выполнена в рамках Государственного задания Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН.*

**Список литературы:**

1. Ito T., Fujii R., Evans K.F., Hayashi K. Estimation of Stress Profile with Depth from Analysis of Temperature and Fracture Orientation Logs in a 3.6 km Deep Well at Soultz, France // Proceedings of SPE/ISRM Rock Mechanics Conference, Irving, 20 – 23 October 2002. 2002. SPE Conference Paper 78185-MS;
2. Barton C.A., Zoback M.D., Moos D. Fluid flow along potentially active faults in crystalline rocks // Geology. 1995. V. 23. №8. P. 683–686;
3. Dubinya N.V., Ezhov K.A. In-situ horizontal stress estimation based on the geometrical properties of fractures in well vicinity // Geophysical Research. 2017. V. 18. №2. P. 5–26;
4. Dubinya N.V., Tikhotskiy S.A. Method for the inverse problem solution for reconstruction of stress-strain state of rock mass based on natural fractures data // Izvestiya, Physics of Solid Earth. 2022. V. 58. №4. P. 113–134.

# АНАЛИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ AVO-СЕЙСМОГРАММ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПЕТРОУПРУГОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОРОД ДОМАНИКОВОЙ ФОРМАЦИИ

*Окуневич В.С.<sup>1</sup>, Баюк И.О.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория главного геомагнитного поля и петромагнетизма (202)*

Основой для проведения исследования стало теоретическое моделирование синтетических AVO-сейсмограмм с использованием результатов петроупругого моделирования пород доманиковой формации. Первый этап работы состоял в том, что с помощью методов теории эффективных сред было проведено теоретическое моделирование эффективных упругих свойств образцов пород доманиковых отложений [1]. Далее были построены различные сейсмогеологические модели, где варьировалось содержание твердого органического вещества (керогена) в пласте и его пористость. На основе этих моделей были рассчитаны коэффициенты отражения и для лучшей визуализации и анализа построены синтетические AVO-сейсмограммы. В задачи исследования входило создание сейсмогеологической модели, содержащей керогеносодержащий слой доманиковых отложений, и анализ значений коэффициента отражения от этого слоя в зависимости от содержания керогена и степени его зрелости в слое.

Объектом исследования являлись сейсмогеологические модели, полученные в результате петроупругого моделирования пород доманиковой формации.

Для большей наглядности полученных результатов, с целью их анализа и применения для сейсмической интерпретации, были построены синтетические сейсмические изображения, показывающие изменение амплитуды отражения сейсмического сигнала от кровли и подошвы в зависимости угла падения.

В ходе исследования проведено моделирование синтетических AVO сейсмограмм по сейсмогеологическим моделям, полученным в результате петроупругого моделирования пород доманиковой формации. Проведен анализ отражений от кровли и подошвы продуктивного пласта при различных значениях содержания керогена, степени его зрелости в нем (ассоциированной с различной пористостью керогена) и при различном уровне шумов. Выявлен сложный характер отражений в обоих случаях и различные их особенности, например, наличие “слепых зон”. Эти особенности могут быть использованы при интерпретации сейсмических данных.

### **Список литературы:**

1. *Окуневич В.С., Баюк И.О.* Петрофизическое моделирование пород доманиковой формации как основа интерпретации сейсмических данных. ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ 4. ГЕОЛОГИЯ. 2022;(4):149-156. <https://doi.org/10.33623/0579-9406-2022-4-149-156>.



ПРИМЕНЕНИЕ АТМОСФЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ GACOS К  
ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИМ ОЦЕНКАМ ПОЛЕЙ СМЕЩЕНИЙ: ВУЛКАНЫ  
КАМЧАТКИ

*Османов Р.С., Волкова М.С., Михайлов В.О.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория комплексного изучения и мониторинга геодинамических процессов в Курило-Камчатской зоне субдукции (107), Лаборатория комплексной геодинамической интерпретации наземных и спутниковых (502)*

Спутниковая интерферометрия является эффективным методом изучения активных природных процессов, в том числе вулканов, поскольку позволяет определять смещения земной поверхности, в том числе связанные с движением магмы. При выделении деформационной компоненты смещений необходимо устранить различного рода шумы и помехи, среди которых наибольшие проблемы в горных областях создают фазовые задержки радарного сигнала, связанные с влиянием атмосферы. Задержки фазы могут существенно исказить оценки смещений земной поверхности.

В работе исследуется проблема устранения атмосферных помех при расчёте полей смещений по снимкам спутника Сентинель-1А с помощью метода дифференциальной интерферометрии (DInSAR). Для коррекции полей смещений выполнено тестирование модели атмосферной поправки GACOS (Generic Atmospheric Correction Online Service [1, 2, 3]). При этом было рассчитано 87 интерферометрических пар на районы вулканов Мутновский-Горелый, Шивелуч, Авачинско-Корякская группа вулканов (АКГВ), Карымский вулканический центр, Толбачик, Жупановский. Оценка эффективности устранения атмосферной ошибки производилась с помощью статистических показателей: относительное изменение дисперсии поля смещений до и после введения коррекции и коэффициент корреляции между величинами смещений и топографией.

При введении поправок критерием улучшения результата принято уменьшение дисперсии и снижение коэффициента корреляции между значениями смещений и топографией. Зависимость поля смещений от топографии считается несущественной, если коэффициент корреляции не превышает порогового значения 0.3.

Положительный результат получен для 54% интерферограмм. Несмотря на то, что в этих случаях атмосферная поправка достаточно эффективно учитывает компоненту, зависящую от рельефа местности, на некоторых интерферограммах частично сохраняются ошибки, связанные со стратификацией и на всех интерферограммах сохраняются компоненты, связанные с турбулентностью атмосферы, которые могут маскировать деформационную составляющую. В некоторых случаях вычитание атмосферной поправки вносит в поле смещений пространственный тренд. Тем не менее, учитывая сложные для интерферометрии условия Камчатского региона (резкая смена погодных условий, расчлененный рельеф, снежный покров значительную часть года, низкое отношение сигнал/шум в интерферограммах), рекомендуется использовать предложенные в работе статистические критерии и при статистически положительном эффекте, несмотря на остаточные шумы, применять атмосферную коррекцию с помощью модели GACOS для полей смещений, полученных на территории п-ова Камчатка.

*Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 23-17-00064, <https://rscf.ru/project/23-17-00064/>.*

Докладчик: **Османов Рустам Собирович**, аспирант, [osmanovrustam135@gmail.com](mailto:osmanovrustam135@gmail.com)

## НАСКОЛЬКО МАГНИТНА НЕМАГНИТНАЯ КОМНАТА?

*Пасенко А.М.<sup>1</sup>, Минаев П.А.<sup>1</sup>, Кулакова Е.П.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория главного геомагнитного поля и петромагнетизма (105)*

Палеомагнитные исследования часто проводятся на породах с достаточно небольшой величиной естественной остаточной намагниченности (ЕОН). Для исключения возможности подмагничивания образцов горных пород в процессе магнитной чистки их нагрев и последующие измерения ЕОН рекомендуется проводить в пространстве, экранированном от внешнего магнитного поля.

В 2016 году в Лаборатории Главного геомагнитного поля и палеомагнетизма ИФЗ РАН была установлена немагнитная комната производства Lodestar Magnetics Inc., США, площадью 12 м<sup>2</sup> с входом и двумя небольшими техническими окошками. Стены комнаты представляют собой листы пермаллоя, сложенные в три слоя так, что каждый следующий лист металла перекрывает стык двух предыдущих листов. Изнутри и снаружи пермаллоевые стены обшиты листами древесно-стружечных плит без использования металлических метизов. Подобная конструкция способна ослаблять значения внешнего поля до 200 раз.

Внутри немагнитной комнаты расположены криогенный SQUID-магнитометр и спин-магнитометр JR-6 с управляющими компьютерами, немагнитные печи ММТD-80 и ММТD-24, рабочие поверхности и пространства для хранения образцов. Последние сделаны целиком из дерева без использования металлических соединений.

В 2019 году в рамках полного техобслуживания SQUID-магнитометра и немагнитной комнаты был осуществлен крупномасштабный проект по генеральной уборке последней. Из комнаты было вынесено все оборудование и произведены замеры величины магнитного поля внутри. Нами была измерена величина полного вектора магнитного поля непосредственно возле стен, пола и потолка по заданной сетке с шагом ~50 см, а также в центре комнаты – в теоретическом месте наилучшего экранирования. Измерения магнитного поля проводились при помощи портативного трехосевого магнитометра.

Затем, при помощи специального размагничивающего устройства («немагнитной швабры») нами были размагничены стены, пол и потолок комнаты, после чего значения магнитного поля были вновь измерены у реперных точек.

Было показано:

- 1) За 3 года использования комнаты качество экранирования внешнего магнитного поля снизилось почти в 10 раз;
- 2) Наиболее «загрязненным» участком оказалось место размещения постоянно включенного компьютера от SQUID-магнитометра;
- 3) Ослабление экранирования у технических отверстий комнаты – входа и окошек;
- 4) После размагничивания среднее внутреннее значение поля в центре комнаты стало близко к изначальному – в ~130 раз слабее внешнего магнитного поля.

Впоследствии системный блок компьютера от SQUID-магнитометра, находящегося все время во включенном состоянии, был вынесен за пределы комнаты для уменьшения степени будущего магнитного загрязнения.

## ОЧЕРЕДНОСТЬ ПРОЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПЕРЕД СИЛЬНЫМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ

*Петрушов А.А.<sup>1,2</sup>, Смирнов В.Б.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория физики землетрясений и неустойчивости горных пород (301)

<sup>2</sup> Физический факультет МГУ

Аномалии сейсмического режима перед сильными землетрясениями относятся к так называемым физическим предвестникам землетрясений [Сидорин, 1992; Соболев, 1993]. Происхождение аномалий связывают с развитием разрушения в локальной области литосферы, которое в конечном счете приводит к разрушению этой области очагом землетрясения. В качестве параметров сейсмического режима рассматривались наклон графика повторяемости (*b*-value) и функция RTL.

Представлены результаты выявления очередности проявления аномалий параметров сейсмического режима перед землетрясениями различных магнитуд. Регистрировались времена формирования и развития аномалий различных параметров сейсмического режима, и анализировалось их соотношение. Для анализа отобраны землетрясения в областях с двумя генеральными тектоническими типами: в зоне субдукции (Камчатка и Япония) и в рифтовой зоне (Исландия).

Пространственно-временные аномалии выявлялись перед отобранными землетрясениями на основе известных “образов предвестников” параметров сейсмического режима. Сопоставление длительностей выявленных аномалий показало, что аномалии наклона графика повторяемости возникают, в большинстве случаев, раньше, чем аномалии функции RTL. Выдвинута гипотеза, отражающая физическое обоснование такой очередности. В окрестностях изученных землетрясений оценивалось также изменение параметра концентрации сейсмогенных разрывов в пределах соответствующих сейсмических циклов. Сопоставление времен возникновения выявленных аномалий сейсмического режима с соответствующими этим временам значениями параметра концентрации сейсмогенных разрывов показало, что формирование аномалий сейсмического режима происходит на стадии, когда состояние системы накопившихся за время сейсмического цикла сейсмогенных разрывов практически достигло критического значения.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №23-27-00067.*

### **Список литературы:**

1. Смирнов В.Б., Петрушов А.А. Стадийность проявления аномалий сейсмического режима перед землетрясениями Камчатки, Японии и Исландии // Физика Земли. 2023. No 5. С. 62–78;
2. Сидорин А. Я. Предвестники землетрясений. М.: Наука. 1992. 191 с.;
3. Соболев Г.А. Физические основы прогноза землетрясений. М.: Наука. 1993. 314 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ ПОРОД ДОМОДЕДОВСКОГО КАРЬЕРА

*Пирогов М.В., Баяк И.О.<sup>1</sup>, Белобородов Д.Е.<sup>2</sup>, Краснова М.А.<sup>1</sup>, Багдасарян Т.Э.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория фундаментальных проблем нефтегазовой геофизики и геофизического мониторинга (202)*

<sup>2</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория физики землетрясений и неустойчивости горных пород (301)*

<sup>3</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория главного геомагнитного поля и петромагнетизма (105)*

При расчёте петроупругих моделей неизбежно приходится так же моделировать и геометрию рассматриваемой породы, основываясь на теории эффективных сред (ТЭС), задавая аспектные отношения пор и зёрен горной породы, слагающих её матрицу. Нередко, при выборе геометрии модели, следуют правилу “as easy as possible” (как можно проще), тем самым упрощая и ускоряя расчёты.

Но, несмотря на преимущества данного подхода (единообразие моделей и их оперативное составление) – при необходимости построения модели повышенной точности возникает и необходимость точного описания геометрии композита породы. В данном случае и возникает необходимость в детальном изучении микроструктуры и уточнении модели на основе полученных данных.

Данная работа посвящена изучению микроструктуры известняков Мячковского горизонта из Домодедовского карьера и разности в расчётах, полученной в ходе построения моделей максимально упрощая геометрию последней и полученной в ходе построения с учётом особенной порового пространства [2].

Для проведения подобных исследований были использованы «шайбы», напильные из образцов горных пород, представляющих из себя цилиндры, размерами 6 см в длину на 3 см в диаметре. Все исследования проводились на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) TESCAN MIRA LMS в Институте Физики Земли им. О.Ю. Шмидта. Результатом изучений стали фотографии участков, полученные на СЭМ на микроуровне и их карты фаз, где было выделено пустотное пространство в результате дифференциации на основе состава.

По полученным снимкам стало возможно уточнение геометрии порового пространства модели, что в последующем нашло отражение и в упругих свойствах горных пород [2]. Полученные же карты фаз, помимо того, что дали количественную оценку параметра пористости, так же позволили уточнить геометрию модели.

**Список литературы:**

1. *Mavko, G., Mukerji, T., & Dvorkin, J. (2009). The Rock Physics Handbook: Tools for Seismic Analysis of Porous Media (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press;*
2. Физико-химические и петрофизические исследования в науках о Земле. Двадцать четвертая международная конференция. Москва, 25 – 27 сентября, Борок, 29 сентября 2023 г. Материалы конференции. М.: ИГЕМ РАН, 2023. – 47-51 с.

## ТРЕХМЕРНАЯ ТОМОГРАФИЧЕСКАЯ СХЕМА СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТНО-ВОЛНОВОЙ ТОМОГРАФИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛОСЧАТОГО БАЗИСА

*Позднякова Д.Д.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> *Кафедра акустики, физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова*

Поверхностно-волновая томография [1] является перспективным методом исследования характеристик неоднородных геофизических сред. Обычно при реализации методов поверхностно-волновой томографии на первом этапе восстанавливаются двумерные карты фазовых или групповых скоростей на разных частотах, которые на следующем шаге инвертируются в трехмерное распределение параметров среды [2]. Отличительной особенностью рассматриваемой в настоящей работе томографической схемы является восстановление неоднородностей среды, минуя промежуточный этап реконструкции двумерных карт фазовых или групповых скоростей поверхностных волн.

Рассматриваемый подход основан на линейной связи между возмущением скорости поперечных волн на заданной глубине и временем распространения поверхностной волны на заданной частоте. В работе показано, что такое приближение выполняется для параметров среды, соответствующих реальным неоднородностям. При решении обратной задачи исследуемая область разбивается по глубине на слои с постоянными характеристиками. В каждом слое неоднородности представляются в виде суммы базисных функций с неизвестными коэффициентами разложения. Используется полосчатый базис, ранее разработанный для восстановления параметров водной толщи океана [3]. Предполагается, что наблюдаемые в эксперименте возмущения времен распространений поверхностных волн, вызванных искомыми неоднородностями, представимы в виде линейной комбинации возмущений времен, вызванных базисными функциями. Это позволяет построить систему линейных уравнений относительно неизвестных коэффициентов разложения искомых неоднородностей по базисным функциям, решение которой позволяет восстановить трехмерные распределения параметров среды. К особенностям обсуждаемой схемы можно отнести учет гладкости восстанавливаемых функций по глубине, а также учет фиксированного количества слоев при использовании различных частот.

Полученные в ходе проведенного исследования результаты численного моделирования указывают на работоспособность развиваемого подхода. Предполагается, что в будущем данный метод позволит построить совместную схему водной толщи океана и дна, в том числе в рамках пассивной сейсмоакустической томографии.

### **Список литературы:**

1. Яновская Т.Б. Поверхностно-волновая томография в сейсмологических исследованиях. СПб.: Наука, 2015;
2. Тихоцкий С. А., Преснов Д.А., Собисевич А.Л., Шуруп А.С. Использование низкочастотных шумов в пассивной сейсмоакустической томографии дна океана // Акуст. журн. 2021. Т. 67. № 1. С. 107-116;
3. Буров В.А., Сергеев С.Н., Шуруп А.С. Трехмерная модель томографического восстановления океанических неоднородностей при неизвестном расположении антенн // Акуст. журн. 2021. 2011. Т. 57. № 3. С. 348-363.

СВОЙСТВА ФОНОВОГО СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКОГО ШУМА МОРСКОГО ЛЬДА  
АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА

*Преснов Д.А.<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория фундаментальных проблем  
экологической геофизики и вулканологии (703)*

Свойства фоновых сейсмоакустических шумов, присутствующих повсеместно на нашей планете, определяют возможности использования современных пассивных геофизических методов изучения глубинного строения [1, 2]. При этом, в труднодоступных и малоизученных регионах Арктики существует возможность размещения измерительного оборудования прямо на плавающем льду, по аналогии с экспериментом [3], что делают задачу исследования ледовых шумов особенно актуальной.

В настоящей работе представлены результаты разработки неконтактного метода определения свойств льда вдоль протяженных трасс, основанного на анализе фоновых сейсмоакустических шумов [4]. Упругие изгибно-гравитационные волны в слое плавающего льда обладают дисперсией скорости распространения, которая зависит от упругих параметров и толщины льда. Это позволяет с использованием двух сейсмических станций расположенных на льду измерять скорости изгибных волн и решать обратную задачу для оценки параметров среды распространения между этими двумя станциями.

Апробация метода выполнена в рамках полевого эксперимента, выполненного в 2023 году на льду бухты Северная, архипелага Земля Франца-Иосифа в рамках экспедиции РГО.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ в рамках научного проекта № 22-77-00067.*

**Список литературы:**

1. Тихоцкий С.А., Преснов Д.А., Собисевич А.Л., Шуруп А.С. Использование низкочастотных шумов в пассивной сейсмоакустической томографии дна океана // Акустический журнал. 2021. Т. 67. № 1. С. 107-116;
2. Алешин И.М., Гоев А.Г., Косарев Г.Л., Преснов Д.А. Спектр отношения  $N/V$  сейсмического шума можно обрабатывать совместно с приемными функциями // Физика Земли. № 4. с. 133-141;
3. Собисевич А.Л., Преснов Д.А., Тубанов Ц.А., Черемных А.В., Загорский Д.Л., Котов А.Н., Нумалов А.С. Байкальский сейсмоакустический эксперимент // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 496. № 1. С. 82-86;
4. Преснов Д.А., Собисевич А.Л., Шуруп А.С. Определение параметров ледового покрова с помощью сейсмоакустического шума // Акустический журнал. 2023. Т. 69. № 5. С. 637-651.

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ИОНООБРАЗОВАНИЯ В НИЖНЕЙ АТМОСФЕРЕ  
ГАММА-КВАНТАМИ ПОЧВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
“GEANT4”

*Прохорчук А.А.<sup>1</sup>, Галиченко С.В.<sup>1</sup>, Анисимов С.В.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>ГО “Борок” ИФЗ РАН, Лаборатория геофизического мониторинга*

Одним из значимых процессов в ионизации атмосферного пограничного слоя (АПС), влияющем на его электродинамику, является взаимодействие электронных оболочек молекул с квантами электромагнитного излучения высоких энергий, испускаемых при распадах мюонов вторичных космических лучей и стабилизации возбужденных состояний ядер радионуклидов рядов  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ , содержащихся в верхнем слое земной коры [1,2]. Распределение интенсивности ионообразования формируется энергетическим спектром излучения, распределением и интенсивностью источников, характером взаимодействия излучения с веществом.

С помощью численной модели, реализованной на базе программного инструментария “Geant4” [3], и привлечения данных измерений спектрометра гамма-излучения МКСП-01 “РАДЭК”, установленного в полевом комплексе ГО “Борок”, выполнена оценка массовых концентраций  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  в почве. Рассчитано вертикальное распределение интенсивности ионообразования в АПС, формируемое объемной активностью радионуклидов с данными массовыми концентрациями.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 22-17-00053).*

**Список литературы:**

1. Анисимов С.В., Афиногенов К.В., Галиченко С.В., Прохорчук А.А., Климанова Е.В., Козьмина А.С., Гурьев А.В. Электричество невозмущенного атмосферного пограничного слоя средних широт // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2023. Т. 59. № 5. С. 595–611;
2. Анисимов С.В., Галиченко С.В., Климанова Е.В., Прохорчук А.А., Афиногенов К.В. Вклад фотонной компоненты в ионизацию атмосферы радионуклидами земной коры и радиоактивными эманациями // Физика Земли. 2023. № 6. С. 245–258;
3. Agostinelli S., Allison J., Amako K., Apostolakis J. et al. Geant4—a simulation toolkit // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2003. V. 506. Iss. 3. P. 250-303.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИДЕНТИЧНОСТИ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ НА АЛЕКСАНДРОВСКОМ ГЕОФИЗИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ

*Родина Т.А., Варенцов И.М., Лозовский И.Н., Ионичева А.П.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*ЦГЭМИ ИФЗ РАН, Лаборатория магнитотеллурических исследований*

Рассмотрены методические аспекты обработки и анализа записей идентичности, выполненных несколькими видами магнитотеллурической (МТ) аппаратуры на геофизической базе МГУ в д. Александровка Калужской области. В 2023 г. в рамках программы обновления научного оборудования ЦГЭМИ ИФЗ РАН получил две современные 5-компонентные МТ станции NORD+ производства ООО «Северо-Запад» (г. Москва). Дается краткое описание новых возможностей приобретенной аппаратуры и обсуждаются результаты ее приемочных испытаний на Александровском полигоне.

В выбранной точке полигона на удалении в полтора км от зданий Геофизической базы 3-10 мая 2023 г. выполнены синхронные записи электромагнитных (ЭМ) полей (тесты идентичности) двумя станциями NORD+, а также несколькими МТ станциями предшествующего поколения: широкополосными МЭРИ-ПРО (ООО «Северо-Запад»), MTU-5 (Phoenix Geophysics Ltd., Канада) и длиннопериодной LEMI-417V (ИКИ НАН Украины).

Главной задачей эксперимента было получение навыков эффективной работы с новой аппаратурой и проверка ее точности в сопоставлении с предшествующими аналогами. В ходе эксперимента велась настройка процедур синхронной обработки данных разных станций в программных системах PRC\_MTMV (ЦГЭМИ ИФЗ РАН, [1]) и EPI-Kit (ООО «Северо-Запад»). Представлены результаты сопоставления оценок импеданса и типпера для участвовавших станций, а также оценок горизонтального магнитного оператора (отн. станции LEMI-417V).

Оценки передаточных операторов ЭМ поля по данным NORD+ в системе PRC\_MTMV характеризуются повышенной точностью и помехозащищенностью. При этом, однако, выявлены устойчивые временные сдвиги записей NORD+ (~ 2 секунд) по отношению к другим станциям. Разработаны средства компенсации этих сдвигов в процессе обработки данных. Определен поправочный коэффициент для электрических и магнитных каналов станции MTU-5 (1.15).

Комплекс аппаратуры МЭРИ-ПРО и NORD+ подготовлен к проведению совместных полевых работ МГУ и ЦГЭМИ ИФЗ РАН в рамках проекта SMOLENSK [2] в июле 2023 г., давших более 50 новых кондиционных глубинных зондирований в зоне Средне-Русской системы авлакогенов.

### **Список литературы:**

1. *Varentsov Iv.M.* Arrays of simultaneous EM soundings: design, data processing, analysis, and inversion // *Electromagnetic sounding of the Earth's interior: theory, modeling, practice.* Amsterdam: Elsevier. 2015. P. 271–299. doi:10.1016/B978-0-444-63554-9.00010-6;
2. *Варенцов Ив.М., Иванов П.В., Ионичева А.П. и др.* Массив МТ зондирований SMOLENSK: изучение глубинной структуры области тройного сочленения крупнейших сегментов Восточно-Европейской платформы // *Геофизика.* 2021. № 1. С. 46–56.



ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УТЕЧЕК ФЛЮИДА И ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ  
ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ПРОНИЦАЕМОСТИ И ПОРИСТОСТИ В  
ГОРНЫХ ПОРОДАХ ПРИ НАГРУЖЕНИИ, ПРОВЕДЕННАЯ НА АЛЮМИНИЕВЫХ  
ОБРАЗЦАХ

*Сергеев Д.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*ИФЗ РАН, инженер-исследователь, лаборатория физики землетрясений и неустойчивости горных пород (301), лаборатория петрофизических и геомеханических исследований керна (205)*

Выявление взаимосвязей между процессами разрушения и развития проницаемости в динамике представляет существенный интерес для изучения закономерностей различных переходных режимов сейсмического процесса и прояснения их физической природы [1].

В ходе обработки лабораторных данных экспериментов по исследованию развития проницаемости образцов осадочных и вулканогенных горных пород (на стандартных образцах керна диаметром 30 мм и высотой 60 мм) возникла необходимость провести оценку порядка измеряемых величин в ходе эксперимента. С этой целью были проведены аналогичные испытания на непроницаемых алюминиевых образцах для выявления возможных утечек флюида и оценки температурного влияния на измеряемые данные.

Эксперименты осуществлялись на сервогидравлической установке высокого давления GCTS RTR 4500 в лаборатории 205 ИФЗ РАН.

В ходе экспериментов на алюминии выявлены следующие эффекты:

- Постоянный уровень утечки в единицах проницаемости составляет  $2 \times 10^{-18} \text{ м}^2$ ;
- Наблюдаются всплески (колебания уровня)  $1 \div 2 \times 10^{-18} \text{ м}^2$ , природа которых пока остается неясной;
- Всплески происходят несинхронно для двух различных измерителей (поршней);
- Явной зависимости всплесков в единицах проницаемости от колебания температуры не наблюдается;
- Отмечается, что изменение объема керосина (пересчитываемого в изменение пористости) происходит обратно пропорционально изменению температуры.

*Лабораторные исследования выполнены на оборудовании Центра коллективного пользования ИФЗ РАН в рамках государственного задания ИФЗ РАН.*

**Список литературы:**

1. Смирнов В.Б., Пономарев А.В. Физика переходных режимов сейсмичности. М.: РАН, 2020 – 412 с.

## ФИЛЬТРАЦИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ С УЧЕТОМ КАПИЛЛЯРНОЙ КОНДЕНСАЦИИ ФЛЮИДОВ В НАНОМАСШТАБНОЙ ПОРИСТОСТИ.

*Сиразов Р.А.<sup>1</sup>, Нестерова И.С.<sup>2</sup>, Хлюпин А.Н.<sup>2</sup>, Герке К.М.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория фундаментальных проблем нефтегазовой геофизики и геофизического мониторинга (202)*

*<sup>2</sup>Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)*

Моделирование течения жидкости в реальных пористых средах, таких как низкопроницаемые коллекторы, на данный момент является сложной задачей из-за необходимости учета наноразмерных явлений и необходимости проведения масштабирования параметров с наноразмерных масштабов на масштабы пласта.

В рамках данной работы мы проводим моделирование в наноразмерных порах методами классической теории функционала плотности (DFT) для расчета капиллярной конденсации в порах и каналах. Полученные результаты в дальнейшем используются для моделирования однофазной фильтрации в поровой сети (PNM) с учетом эффектов капиллярной конденсации.

Мы выполняем DFT расчеты профиля плотности жидкости в поре в процессе повышения и понижения давления и вычисляем среднюю плотность в поре. В результате мы получаем эффективные PVT жидкости в поре с гистерезисом капиллярной конденсации, возникающим из-за различия протекающих неравновесных процессов смены фазы при повышении и понижении давления. При возникновении капиллярной конденсации средняя плотность флюида резко возрастает при повышении давления и уменьшается при понижении давления. Полученный гистерезис капиллярной конденсации в дальнейшем используется также в PNM-расчетах.

Чтобы учесть капиллярную конденсацию в порах и каналах поровой сети, было внесено несколько изменений в базовый алгоритм построения поровой сети. Мы предполагаем, что, если жидкость в элементе сети пор конденсируется, это препятствует протеканию газообразной жидкости через элемент сети. Можно привести аргумент, что в случае массовой конденсации может развиваться двухфазный поток. Однако в данной работе мы ограничиваемся исследованиями газовых потоков, когда только в части элементов происходит конденсация. Согласно этому предположению, происходит исключение элементов поровой сети из системы уравнений, используемой для расчета проницаемостей.

В рамках работы были исследованы следующие зависимости падения проницаемости:

1. Зависимость от температуры, при которой проходит эксперимент;
2. Зависимость от распределения размеров пор и каналов в образце.

В результате работы был разработан метод связи порово-сетевого моделирования и теории функционала плотности, позволяющий проводить расчеты с учетом капиллярной конденсации в порах и каналах. В зависимости от температуры эксперимента и структуры образца, в наших случаях описываемой различными распределениями размеров пор, получены различные значения снижения проницаемости вплоть до полной блокировки потока газа через образец.

Докладчик: **Сиразов Рустем Альбертович**, аспирант, [rus-sirazov@yandex.ru](mailto:rus-sirazov@yandex.ru)

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РОСТА КРИСТАЛЛОВ ЦИРКОНА

*Сорокин М.А.<sup>1</sup>, Мельник О.Э.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова.*

<sup>2</sup>*Университет Гренобль-Альпы, Isterre*

В процессе кристаллизации магматических расплавов из них выделяются различные минералы, которые можно разделить на основные с большими объемными долями (плагиоклаз, оливин, пироксен) и акцессорные с объемными долями в несколько процентов. Они часто обогащены элементами, присутствующими в виде примесей. К последним относится циркон, состоящий из оксидов кремния и циркония ( $ZrSiO_4$ ), а также небольшого количества других элементов. Для эффективного использования цирконов в геохронологических, изотопных и химических анализах важно количественно связать условия образования и роста циркона с изменением температуры магмы. Лабораторные эксперименты не позволяют предсказать скорость роста и зарождения циркона в природных магматических системах. Это связано с тем, что данные процессы протекают очень медленно и занимают от сотен до десятков тысяч лет. В связи с этим важное значение приобретает численное моделирование роста популяции циркона в остывающих магматических расплавах. В данной работе представлена математическая модель зарождения и роста популяции кристаллов циркона в остывающих магматических интрузиях, позволяющая из первых принципов рассчитать распределение кристаллов циркона по размерам. Задача рассматривается в одномерной [1], двумерной и трехмерной постановках. Модель основана на численном решении уравнения диффузии, учитывающем зарождение и рост отдельных кристаллов, а также температурную зависимость равновесной концентрации циркония и коэффициента диффузии. Рассчитано распределение кристаллов циркония по размерам для различных скоростей охлаждения магматического центра и проведено сравнение с результатами измерений.

Нахождение численного решения уравнения представляет собой сложную в вычислительном отношении задачу для трехмерной постановки. Выполнение расчетов на современном процессоре среднего персонального компьютера занимает более одного месяца. Поэтому код для численного решения трехмерной постановки был написан для ускоренных расчетов с использованием графического ускорителя на языке CUDA. Расчеты дают распределение кристаллов по размерам в трехмерной среде, которое хорошо согласуется с результатами измерений на образце продуктов вулканических извержений [2] и позволяют получить первые оценки зависимости скорости зарождения кристаллов циркона от переохлаждения в магматических очагах.

***Список литературы:***

1. *Sorokin, M. A., Melnik, O. E. & Bindeman, I. N.* “Modeling of zircon nucleation and growth rates using crystal size distributions in a cooling magmatic intrusion.” *Earth and Planetary Science Letters* 577, 117254 (2022);
2. *Bindeman, I. N.* (2003). Crystal sizes in evolving silicic magma chambers. *Geology*, 31(4), 367-370.

## ПАЛЕОСЕЙСМИЧНОСТЬ НАРЫНСКОЙ ОБЛАСТИ

*Стрельников А.А.<sup>1</sup>**<sup>1</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория палеосейсмологии и палеогеодинамики (304)*

В 2023 году были проведены комплексные палеосейсмологические работы в Нарынской области Республики Кыргызстан, Северный Тянь-Шань. Целью работы было уточнения сейсмической опасности региона. Выполнены исследования обнажений в зонах разломных уступов. При этом выполнено послойное описание профилей с фиксацией фациальных характеристик отложений, взаимоотношений слоев; выявление сейсмогенного разрыва, определение типа и амплитуды смещения по нему, коллювиальных клиньев. Оценка магнитуд и интенсивности палеоземлетрясений проводилась на основе эмпирических зависимостей между ними и параметрами сейсмогенных разрывов [1]. Проведен статистический анализ современной геодинамической активности и обстановок формирования новейших структур Нарынской области, в основу которого положены данные ГНСС и решения фокальных механизмов очагов землетрясений.

Тянь-Шань находится в северной части одного из самых крупных Средиземноморско-Гималайского горного пояса. Принято считать, что возникновение Тянь-Шаньского орогена объясняется следствием столкновения и продолжающейся коллизией Евразийской и Индийской литосферных плит [2].

В новейшем поле напряжений происходят частичная активизация древних швов и движения по ним. Крупные впадины (Нарынская, Курайская, Чуйская) связаны с зонами Курайско-Чуйского, Саяно-Тувинского, Чингиз-Нарынского разломов [3].

*Работа выполнена в рамках государственного задания лаборатории палеосейсмологии и палеогеодинамики Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН: «Исследования режима сильных землетрясений и геодинамики Альпийско-Гималайского горного пояса и относительно стабильных территорий Восточно-Европейской платформы с Балтийским щитом на основе изучения палеосейсмичности и альпийской палеогеодинамики» (2022-2024 гг.). (Руководитель темы А.М. Корженков).*

**Список литературы:**

1. Wells, Coppersmith. New empirical relationship among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement // Bull. Seismol. Soc. Am. 1994.V. 84. № 4.P. 974-1002;
2. Molnar, Tapponier. Cenozoic Tectonics of Asia: Effects of a continental collision // Science. 1975. V. 189. P. 419–426;
3. В.Г. Трифонов, С.Ю. Соколов, Д.М. Бачманов, С.А. Соколов, Я.И. Трихунков. Неотектоника и строение верхней мантии Центральной Азии // Геотектоника, 2021, № 3, с. 31–59.

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ УНЧ/КНЧ ИЗЛУЧЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ ИЗВЕРЖЕНИЕМ ВУЛКАНА ТОНГА

*Стуков Д.А., Пилипенко В.А.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория физики околоземного пространства*

Особенность извержений вулканов по сравнению с землетрясениями заключается в том, что помимо акустического воздействия на атмосферу и ионосферу, происходит и электромагнитное воздействие за счет вулканических молний. Носителями электростатического заряда в эруптивном облаке являются вулканический пепел, аэрозоли и газы. Извержение вулкана Тонга 13 и 15 января 2022 г., и сопровождавшая его интенсивная молниевая активность, привели к возбуждению ряда специфических электромагнитных колебаний разных частотных диапазонов. Свойства УНЧ/КНЧ колебаний анализируются по данным магнитометров разных типов в тихоокеанском регионе. Отмечено усиление интенсивности Шумановского резонанса (частота  $\sim 7.8$  Гц) на станциях на Дальнем Востоке. Там же обнаружено появление широкополосных излучений диапазона Pc1 (2–5 Гц), стимулированных интенсивными вулканическими молниями. Эти излучения предположительно являются результатом возбуждения магнитозвукового волновода в верхней ионосфере молниевой активностью.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта № 22-17-00125.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ПОРОД ДОМОДЕДОВСКОГО КАРЬЕРА

*Томаровская М. А.<sup>1</sup>, Гордеев Н. А.<sup>1</sup>, Пирогов М. В.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория фундаментальных и прикладных проблем тектонофизики (204)*

*<sup>2</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория фундаментальных проблем нефтегазовой геофизики и геофизического мониторинга (202), аспирант*

Домодедовский известняковый карьер расположен в 1 км от села Новленское Московской области на правом берегу реки Пахра. В основании вскрытого карьером разреза залегают серые плотные доломитизированные известняки подольского горизонта среднего отдела каменноугольной системы. Верхняя часть подольской толщи сложена светло-серыми, неравномерно ожелезнёнными известняками с редкими кремневыми конкрециями. Перекрывает их толща плотных доломитизированных известняков и доломитов мячковского горизонта. В доломитах отмечаются прослои и линзы доломитовой муки. Выше по разрезу доломиты сменяются тонким пластом органогенного белого известняка. Граница каменноугольных отложений неровная, поверхность сильно выветренная, с карстовыми углублениями и промоинами. Верхний, вскрышной уступ сложен юрскими и четвертичными отложениями. Юрские отложения представлены чёрными и ржаво-бурыми глинами келловейско-оксфордского возраста, изредка содержат конкреции пирита [1].

В западной части карьера велась добыча известняка в небольших масштабах. В неразрабатываемых частях есть доступ к обнажениям, где иногда хорошо различимы тектонические структуры (сдвиги, сбросы). На этих обнажениях собран материал для изучения трещиноватости пород Домодедовского карьера.

Целью данной работы является изучение напряжённо-деформированного состояния пород Домодедовского карьера. В ходе исследования были проведены замеры элементов залегания геологических индикаторов деформаций (трещин, жил, сколов и отрывов), на основе которых были построены стереограммы распределения полюсов данных индикаторов. При помощи парагенетического метода структурного анализа дизъюнктивных нарушений Л. М. Расцветаева были сделаны выводы о направлениях главных напряжений для рассматриваемого участка. Для этого отрывные нарушения были объединены в «популяции» на основе их генезиса. [2]. В результате работы было выявлено субширотное простираание оси главного сжатия и субмеридиональное простираание оси главного растяжения для Домодедовского карьера. Обнаруженные структурные формы также подтверждают этот результат, так как обнаружено два субширотно вытянутых сдвига.

**Список литературы:**

1. Ермолов В.А., Зайцев В.С., Ларичев Л.Н., Парфенов А.А., Харитоненко Г.Н. Подмосковная геологическая практика. Учебное пособие. Изд. МГУ, М., 1999. – 45 с.;
2. Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов I часть. Сборник под ред. А. В. Пейве, АК. В. Лукьянова. Геологический институт АН СССР, М., 1987. – 240 с.

Докладчик: **Томаровская Мария Александровна**, ведущий инженер, avfidius@yandex.ru

## СПЕКТРАЛЬНО ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ ДЛИТЕЛЬНЫХ РЯДОВ НАЗЕМНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ЗОНЕ АШХАБАДСКОГО РАЗЛОМА

**Фаттахов Е.А.**

<sup>1</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория современной и прикладной геодинамики (201)*

Изучение вертикальных смещения земной поверхности в зонах разломов с помощью повторного геометрического нивелирования неоднократно доказывают свою эффективность в сейсмоактивных и нефтегазоносных регионах [3,4,5,6,7,8]. Помимо традиционной обработки результатов наблюдений в виде построения эволюционных и пульсационных графиков [2], а также методами теории деформаций [9,10], внутреннюю структуру временных рядов можно анализировать с помощью специализированных программ [1] для поиска существующих гармоник. Такой подход позволил проанализировать и сравнить нивелирные профили, которые пересекают и проходят рядом с Ашхабадским разломом.

*Работа выполнена в рамках гос. задания ИФЗ РАН.*

### **Список литературы:**

1. Дещеревский А.В., Сидорин А.Я., Фаттахов Е.А. Комплексная методика описания и фильтрации экзогенных эффектов в данных мониторинга, учитывающая вид наблюдений и дефекты экспериментальных данных // Наука и технологические разработки. 2019. Т. 98. №2. С. 25-60;
2. Квятковская С.С., Фаттахов Е.А. Сравнительный анализ деформационных процессов на подземных хранилищах газа // Проблемы недропользования. 2019. № 4 (23). С. 38-49;
3. Кузьмин Ю. О. Современная аномальная геодинамика недр, индуцированная малыми природно-техногенными воздействиями // Горный информационно - аналитический бюллетень (научно-технический журнал). М.: МГГУ. N 9. 2002, С. 48-55;
4. Кузьмин Ю. О. Деформационные последствия разработки месторождений нефти и газа // Геофизические процессы и биосфера. 2021. Т. 20, № 4. С. 103-121;
5. Кузьмин Ю. О. Современные объемные деформации разломных зон // Физика Земли. 2022. № 4. С. 3-18;
6. Кузьмин Ю. О. Физические основы современной геодинамики // Геофизические процессы и биосфера. Т. 22. № 2. С. 5-58;
7. Кузьмин Ю.О., Дещеревский А.В., Фаттахов Е.А., Кузьмин Д.К. и др. Инклинометрические наблюдения на месторождении им. Ю. Корчагина // Геофизические процессы и биосфера. - 2018. - Т. 53. - № 3. - С. 31-41;
8. Кузьмин Ю.О., Дещеревский А.В., Фаттахов Е.А., Кузьмин Д.К. и др. Анализ результатов деформационных наблюдений системой инклинометров на месторождении им. В. Филановского // Геофизические процессы и биосфера. - 2019. - Т. 18. - № 4. - С. 86-94;
9. Кузьмин Ю.О., Фаттахов Е.А. Анализ повторных нивелирных наблюдений в зонах разломов методами теории деформаций // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2018. Т. 23. № 4. С. 67-84;
10. Фаттахов Е.А. Определение главных осей сжатия и растяжения по светодальномерным данным методом тензометрического анализа (Петропавловский геодинамический полигон, п-ов Камчатка) // Геофизические процессы и биосфера. 2021. Т. 20. № 4. С. 138-146.

## НЕОБЫЧАЙНО СИЛЬНОЕ ВОЗМУЩЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНОЙ БУРИ 5.04.2010

**Федулова Ю.А., Федоров Е.Н.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория физики околоземного пространства (402)*

Проблема возмущения атмосферного электрического поля при вариациях геомагнитного поля до сих пор не имеет однозначного решения. Мы проанализировали одновременные данные с высоким разрешением (1 с) магнитометров и станций атмосферного электричества на Камчатке во время суперсуббури 5 апреля 2010 г., развившейся на фоне умеренной магнитной бури ( $Dst \sim -81$  нТл). Сопоставление данных флюксметров и магнитометров показало неожиданно сильный отклик  $Ez \sim 100$  В/м на интенсивные магнитные вариации  $\sim 300$  нТл с характерными временами  $\sim 1$  часа во время взрывной фазы суббури. В то же время, отклик  $Ez$  на резкий ( $\sim 1$  мин) скачок магнитного поля во время прихода к Земле межпланетной ударной волны перед бурей (SSC) оказался сравнительно небольшим,  $Ez \sim 10$  В/м. Практически мгновенный геомагнитный импульс SSC на разнесенных станциях часто интерпретировался как возбуждение электрической моды в волноводе ионосфера – Земля, несущей вертикальное электрическое поле  $Ez$ .

Для оценки возможности возбуждения электрической моды в атмосфере магнитосферными возмущениями мы воспользовались численной моделью электромагнитного ультра-низкочастотного (УНЧ) отклика на осциллирующий ток, втекающий из магнитосферы в ионосферу. Модель основана на численном решении волновых уравнений в системе атмосфера-ионосфера, параметры которой даются моделью IRI. Расчеты показали, что степень возбуждения электрической моды магнитосферными возмущениями невелика, поэтому только слабое  $Ez$  с амплитудой порядка нескольких В/м может быть вызвано УНЧ возмущением с амплитудой  $\sim 100$  нТл. Простая одномерная модель распределения продольного магнитосферного тока  $Jz$ , растекающегося между  $E$ -слоем ионосферы и атмосферой, показывает, что часть  $Jz$ , проникающая в атмосферу, линейно зависит от горизонтального масштаба токовой системы. Из этой оценки вытекает, что необычно сильный отклик атмосферного электрического поля на суперсуббурю 5 апреля 2010 г. был обусловлен исключительной протяженностью аврорального электроджета по долготе от Аляски до Скандинавии.



## МЕТОДИКА И ОПЫТ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ТРЁХМЕРНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ МЕСТ ПРОИСШЕСТВИЙ

*Холодков К.И.<sup>1</sup>, Гуков А.А.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>ИФЗ РАН, Лаборатория геоинформатики (501)*

*<sup>2</sup> Следственное управление УМВД России по Одинцовскому городскому округу*

Известно, что качественно выполненный осмотр места и фиксация обстоятельств происшествия любого имеет приоритетное значение для следственных органов [1]. Однако, например, при фиксации дорожно-транспортных происшествий, схемы, составленные вручную, могут быть малоинформативными или лишены важных обстоятельств. Для решения этой проблемы мы выполнили несколько экспериментов, проведенных в 2022-2023 гг., по созданию и применению методики фиксации обстоятельств на месте ДТП при помощи реконструкции трёхмерной модели по фотоснимкам, полученных с миниатюрного беспилотного воздушного судна (БВС).

Восстановление трёхмерной модели местности по данным аэрофотосъемки — идея не новая. Типовая методика, например [2], представляет собой получение исходных материалов — фотоснимков местности с определенным перекрытием каждого снимка сцены, запечатленным соседним. Типичное значение перекрытия лежит в пределах 55—80% в плане. Кроме этого, методики [3] предусматривают наличие навигационного оборудования геодезического класса на борту БВС, а на земле в районе съемки — опорной станции измерений сигналов спутниковых навигационных систем. Это позволяет очень точно восстанавливать позиции центров снимков и, как следствие, получать модель достоверного масштаба и геодезической привязки.

Использование неспециализированного оборудования, оборудованного приемником глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС) бытового уровня, приводит к тому, что точность центров снимков снижается до нескольких метров в плане и десятков метров по высоте. При таких исходных данных получить достоверный масштаб и привязку к местности крайне затруднительно. Наша идея состоит в значительном увеличении количества снимков, что должно привести к тому, что неоднозначность решений для центров снимков была компенсирована избыточностью количества снимков. Таким образом была получена масштабная точность, сравнимая с возможностями натуральных измерений.

Методика была апробирована на нескольких происшествиях и результаты, полученные с её помощью, обладают высокой информативностью и явились значимым дополнением к материалам дел [4].

*Работа выполнена в рамках государственных задания ИФЗ РАН (№ 075-01030-23-00), утвержденного Минобрнауки России.*

### **Список литературы:**

1. Леоненко Р. М. О целесообразности использования беспилотных летательных аппаратов в практике осмотров мест происшествий по делам, связанным с авиакатастрофами // Вестник Московского университета МВД России. 2015. № 9. С. 105–106.

Докладчик: **Холодков Кирилл Игоревич**, в.н.с., к.т.н, keir@ifz.ru

## ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ НА ОСНОВЕ ОПТИЧЕСКОГО ВОЛОКНА

*Цховребов Т.А., Тихоцкий С.А.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория главного геомагнитного поля и петромагнетизма (105)*

<sup>2</sup>*Институт динамики геосфер Российской академии наук*

Акустические сенсоры на основе оптоволокна, использующие явление рэлеевского рассеяние когерентного оптического импульса на микронеоднородностях волокна, изучаются и разрабатываются с 80-х годов 20 века [1]. Распределённые акустические сенсоры (DAS- distributed acoustic sensor) обладают рядом важных преимуществ, такими как: регистрация сейсмического сигнала вдоль десятков километров оптического волокна и в широком диапазоне частот, низкая стоимость приемной линии и его высокая устойчивость к воздействиям внешней среды [2].

В данной работе рассмотрены основные принципы оптоволоконных датчиков и некоторые их типы. Показана взаимосвязь между оптической фазой и скоростью деформации. Проиллюстрированы методы обработки сигнала DAS и шумоподавления, позволяющие справиться со случайным характером сигнала рэлеевского рассеяния и еще больше улучшить динамический диапазон и чувствительность. Исследуются такие параметры системы, как пространственное разрешение, динамический диапазон, чувствительность и направленность [3].

Сделаны выводы об основных проблемах DAS, которые препятствуют быстрому внедрению и повсеместному распространению. Необходимость обеспечения хорошего акустического контакта между волокном и вмещающей средой снижает ценность таких систем при наземной сейсморазведке, а узкая диаграмма направленности такого сенсора препятствует применению DAS в сейсморазведке методом отражённых волн.

### **Список литературы:**

1. *Тихоцкий С. А., Чулков Е.* Исследование возможности создания сейсмических датчиков на основе оптического волокна с заданной диаграммой направленности // BalticPetroModel-2022. Петрофизическое моделирование осадочных пород. – 2022. – С. 47-51;
2. *Shatalin S., Parker T., Farhadiroushan M.* High definition seismic and microseismic data acquisition using distributed and engineered fiber optic acoustic sensors // Distributed acoustic sensing in geophysics: Methods and applications. – 2021. – С. 1-32;
3. *Kuvshinov B. N.* Interaction of helically wound fibre-optic cables with plane seismic waves // Geophysical Prospecting. – 2016. – Т. 64. – №. 3. – С. 671-688.

## КОНЦЕПЦИЯ АТЛАСА МИКРОСТРУКТУР МАГНИТНЫХ МИНЕРАЛОВ И ПЕРВЫЕ ГЛАВЫ

*Цельмович В.А., Чернышов С.П.*

*Геофизическая обсерватория «Борок» - филиал Института Физики Земли РАН*

Расшифровка информации о характеристиках геомагнитного поля, записанных в древних горных породах, необходима для решения задач палеомагнетизма, поэтому степень сохранности и стабильность естественной остаточной намагниченности (NRM) образцов исследуемых горных пород имеет решающее значение при оценке надёжности полученных результатов. NRM содержится в ферримагнитных зёрнах, у которых есть доменная структура – она определяется минералогией и микроструктурой ферримагнитных зёрен. Соответственно, изменения в минералогии и микроструктуре ферримагнитных зёрен в течение жизни горной породы и при выполнении лабораторных экспериментов определяют как механизм образования, так и временную и температурную стабильность всех видов остаточной намагниченности.

Основной целью исследования является предоставление современного «путеводителя» (Атласа) по возможным магнитоминералогическим структурам практикам-палеомагнитологам и специалистам смежных направлений. Предполагается, что в Атласе будут указаны и описаны структуры, которые с большой вероятностью говорят о первичности и хорошей сохранности намагниченности. Также будет уделено внимание структурам, который могут дать искажённую информацию о древнем поле. Для этого начато наполнение Атласа информацией о микроструктуре и составе ранее изученных образцов. Согласно многим авторам в области палеомагнитных исследований, электронно-микроскопические и рентгеноструктурные исследования занимают важное место в оценке достоверности данных по древнему полю ( $H_{др}$ ). В пополняемый электронный «Атлас микроструктур» отобраны типичные микроструктуры первичных и изменённых магнитных минералов, полученные В.А.Цельмовичем на микроскопе Tescan Vega II на образцах для палеомагнитных исследований. Наполнение «Атласа микроструктур» оригинальными микрофотографиями начато на Облаке по адресу <https://cloud.mail.ru/public/TJ7f/o88xiZXcX>. Предполагается, что эта информация будет пополняться. Также была проведена работа по поиску публикаций, зарубежных и отечественных, в которых приводились аналогичные исследования микроструктур (поиск проведён при участии Н.Н.Сиротинской, с добавлениями Чернышова С.П. по гомогенным титаномагнетитам). Найденные публикации были выложены на <https://cloud.mail.ru/public/Au5o/dv8oF1vAP>.

Пополняемый Атлас создаётся в виде четырёх взаимосвязанных частей:

- 1) Вводная часть будет содержать общую информацию о магнитных минералах, взятую из известных обобщающих публикаций и статей последних лет;
- 2) Экспериментальных результатов по типам магнитных минералов с данными, полученными в ГО "Борок" ИФЗ РАН;
- 3) Публикаций, в которых отражены выделенные типы, найденные другими исследователями со ссылками, позволяющими быстро найти публикацию;
- 4) Будут даны комментарии к обнаруженным микроструктурам, с описанием возможных процессов, которые привели к образованию тех или иных характерных микроструктур.

НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ ИСТОЧНИКАХ СНОСА ОСАДОЧНЫХ ПОРОД  
ПОГРАНИЧНОГО ПЕРМО-ТРИАСОВОГО РАЗРЕЗА БОЕВАЯ ГОРА  
(ОРЕНБУРГСКАЯ ОБЛАСТЬ)

*Чистякова А.В.<sup>1,2</sup>, Веселовский Р.В.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория Археоманетизма и эволюции магнитного поля Земли (106)*

<sup>2</sup>*Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова*

Разрез Боевая гора расположен приблизительно в 50 км к югу от Оренбурга и считается одним из наиболее мощных и информативных разрезов Южного Предуралья, в котором представлены верхнепермские и нижнетриасовые осадочные породы, преимущественно песчаники и алевролиты. Выполненное нами ранее U-Pb LA-ICP-MS датирование обломочного циркона из песчаников трёх различных стратиграфических уровней разреза – нижнетриасового, верхнепермского и, вероятно, нижевохминского – не выявило значимых различий в распределении возрастов зёрен. Однако полученные в данном исследовании новые данные позволяют конкретизировать и расширить представления о потенциальных источниках сноса обломочного материала разреза Боевая гора.

Для двух проб, дополнительно к анализу распределений изотопного возраста зёрен циркона, была реализована методика с применением рамановской спектроскопии [1] с целью идентификации возможных эпизодов простого термического отжига. В нижнетриасовых песчаниках циркон, подвергавшийся воздействию наложенных термальных событий, обнаружен не был. Однако в пробе из нижевохминского(?) интервала, зёрна, испытавшие влияние низкотемпературного события, составляют около 25% выборки. Выявленные таким образом субпопуляции циркона указывают на изменения в петрофонде источников сноса.

Для более разносторонней характеристики пород источников сноса также был проанализирован минеральный состав прозрачной части тяжелой фракции и получены данные о кристаллохимических особенностях минералов группы граната. Вариации в характере соотношения минералов тяжелой фракции в трёх изученных пробах практически отсутствуют. Диагностированные типы гранатов существенно отличаются от известных для верхнепермских и нижнетриасовых пород Бельской впадины, обнажающихся приблизительно в 130 км к северо-востоку от разреза Боевая гора [2], в первую очередь, высокой долей андрадита и гроссуляра.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта № 22-27-00597.*

**Список литературы:**

1. Resentini A., Andò S., Garzanti E., Malusà M.G., Pastore G., Vermeesch P., Chanvry E. and Dall'Asta M. Zircon as a provenance tracer: Coupling Raman spectroscopy and U-Pb geochronology in source-to-sink studies // Chem. Geol. 2020. V. 555 (119828);
2. Бадида Л.В., Мизенс Г.А. Кристаллохимическая характеристика аксессуарных минералов молассовых песчаников юга Предуральяского прогиба // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти ПН Чирвинского. 2015. №. 18. С. 77-84.

## ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГНСС-ТЕХНОЛОГИЙ И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

*Шевчук Р.В.<sup>1,2,3</sup>*

<sup>1</sup>*ИФЗ РАН, Лаборатория геоинформатики (501)*

<sup>2</sup>*ГЦ РАН, Лаборатория геодинамики (1.4)*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский технологический университет МИСИС*

Мировой и отечественный опыт, накопленный в последние десятилетия, подтверждает, что применение глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) оказалось очень эффективным для обнаружения даже небольших смещений земной поверхности, вызванных как тектоническими, так и техногенными воздействиями. На сегодняшний день точность ГНСС-измерений на постоянных станциях достигает уровня миллиметров. Однако на локальных геодинимических полигонах эта точность существенно ниже. Для обеспечения эффективности ГНСС-мониторинга необходимо постоянно совершенствовать процесс сбора данных и их обработки, включая оптимизацию структуры геодинимической сети, оперативный контроль точности полевых измерений, а также применение современных алгоритмов обработки и анализа деформаций, и так далее. В этом контексте разработка методики проведения ГНСС-наблюдений и анализа деформаций, которая обеспечит надежность данных о современных движениях земной коры в районе захоронения высокоактивных радиоактивных отходов, остается важной научно-технической задачей.

Разработаны теоретические положения расчетов и моделирования полей деформаций по ГНСС-данным, полученных на Нижне-Канском геодинимическом полигоне, характеризующих деформации дилатации и чистого сдвига, и динамики их изменения во времени [1]. Также была разработана методика для контроля точности измерительного оборудования ГНСС и улучшения качества измерений, особенно в условиях физико-географических особенностей Нижне-Канского массива. Эта методика позволяет выявлять некорректные номинальные параметры измерительных устройств. В контексте модернизации геодинимического полигона Нижне-Канского массива была расширена сеть спутниковых ГНСС-наблюдений до 39 пунктов, включая закладку скальных геодезических центров [2]. Это расширение сети сделало ее более оптимальной с точки зрения формы конечных элементов, что способствует увеличению точности определения деформаций земной поверхности и, соответственно геоэкологической безопасности захоронения РАО.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Геофизического центра РАН, утвержденного Минобрнауки России.*

### **Список литературы:**

1. *Гвишиани А.Д., Татаринев В.Н., Кафтан В.И., Маневич А.И., Минаев В.А., Устинов С.А., Шевчук Р.В.* Геодинимическая модель северной части Нижнеканского массива: разломная тектоника, деформации, изоляционные свойства пород // Доклады академии наук. Наука о Земле. 2022. Т. 507. №1. с. 67-74. DOI: 10.31857/S2686739722601399.

## ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕЩЕР МЕТОДОМ ФОТОГРАММЕТРИИ

**Щербаков В.М.<sup>1,2</sup>, Скрыпичина Т.Н.<sup>1</sup>, Фальков Д.Д.<sup>1</sup>, Уколова А.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), <sup>1</sup>ИФЗ  
РАН, Лаборатория Геоинформатики (501)

Научная значимость решения проблемы моделирования пещер заключается в обеспечении получения новых и уточнения существующих знаний о рельефе подземных полостей – важном, труднодоступном и относительно слабоизученном компоненте геосистем. На сегодняшний день можно выделить три основных применяемых получения 3D моделей пещер. Это метод наземного лазерного сканирования и комбинированный метод [1,2,3], объединяющий несколько видов съемок (наземное лазерное сканирование, фотограмметрическая съемка, тахеометрическая съемка), а также процедурное моделирование (моделирование виртуальных пещер) [4]. Существующими методами съемки пещер достаточно сложно создавать измерительные модели труднодоступных подземных пространств сложной конфигурации. Предлагается метод, реализованный на примере Сьяновской каменоломни, Московская область, сочетающий стереофотограмметрическую съемку труднодоступных пещер с использованием двух фото- и видеокамер GoPro HERO 9 Black с одним осветителем, закрепленным на каске оператора, а также аэрофотосъемку наземной части пещеры с BBC DJI Air 2S; Создание внешне ориентированной общей модели наземной и подземной части пещеры. Опорные точки измерялись в режиме RTK двухчастотным приёмником EFT M1 с контроллером H2. СКП опознаков в плане составила 5 мм, по высоте 12 мм. Контрольная точка на дне пещеры измерялась в отражательном режиме тахеометром Leica TCR1201. СКП совместной модели составила порядка 6 см в плане и по высоте.

### **Список литературы:**

1. *Леонов А.В., Аникушкин М.Н., Бобков А.Е., Рысь И.В., Козликин М.Б., Шуньков М.В., Деревянко А.П., Батулин Ю.М.* Создание виртуальной 3D-модели Денисовой пещеры // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2014. – Т. 59. – № 3. – С. 14–20;
2. *В. М. Щербаков, А. В. Уколова, Т. Н. Скрыпичина, Д. Д. Фальков.* Трехмерное моделирование Сьяновской каменоломни методом фотограмметрии // Спелеология и спелеология, № 1, 2023., стр. 47 – 52;
3. *Cosso T., Ferrando I., Orlando A.* Surveying and mapping a cave using 3d laser scanner: The open challenge with free and open source software // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2014, Vol. XL, Pt. 5, pp. 181 – 186;
4. *Zawadzki T., Nikiel S., Warszawski K.* Hybrid of shape grammar and morphing for procedural modeling of 3D caves // Transactions in GIS. – 2012. - Vol. 16. – No. 5 – P. 619-633.

МОНИТОРИНГ ЗОН ПОВЫШЕННОГО ГАЗОНАСЫЩЕНИЯ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ  
РАЗРЕЗА ПО ДАННЫМ СЪЕМОК 3D ИНЖЕНЕРНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ МОГТ  
РАЗНЫХ ЛЕТ. ШЕЛЬФ ЧЕРНОГО МОРЯ

*Щуплов П.А., Пирогова А.С.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта*

<sup>2</sup>*Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова*

В работе представлена оценка изменения интенсивности и пространственного распределения сейсмоакустических аномалий на шельфе Черного моря, связанных с повышенной газонасыщенностью отложений, и соответственно, представляющих потенциальные риски для проведения буровых работ. Изменения рассматриваются на временном промежутке в 2 года, с 2019 по 2022 гг. Оценка проводилась по двум наборам данных 3D сейсморазведки МОВ-ОГТ сверхвысокого разрешения, полученным в 2019 и 2022 гг. При этом указанные сейсмические съемки нельзя отнести к классической 4D мониторинговой съемке, так как параметры методик двух съемок несколько отличались. В 2019 г была проведена сейсморазведка сверхвысокого разрешения (ССВР) в частотном диапазоне 100-500 Гц. Съемка ССВР 2022 г обеспечила возбуждение и регистрацию сигналов более высокочастотного состава, 250-1000 Гц. В работе рассмотрены прикладные аспекты обработки данных, направленной на приведение двух наборов данных к идентичным условиям возбуждения и приема, которое, в свою очередь, необходимо для мониторинга условий в верхней части разреза по этим данным.

Для мониторинга изменения свойств среды, степени газонасыщенности разреза и пластового давления на двух наборах данных после специализированной обработки проводился динамический анализ. Сначала выполнялась оценка на качественном уровне: были рассчитаны карты различных атрибутов (RMS-амплитуд, минимальных значений амплитуды и др.), проанализировано изменения распределения аномальных зон.

Следующим шагом был переход к количественному анализу: была выполнена акустическая сейсмическая инверсия, которая позволила построить модели акустических импедансов отложений шельфа Черного моря. Было выбран алгоритм инверсии, основанный на модели [1]. По результатам инверсии удалось проследить изменения положения аномальных зон, связанных с газонасыщенностью, оценить возможные пути миграции флюида. Полученные результаты показали хорошую корреляцию с данными инженерно-геологического бурения.

***Список литературы:***

1. *Данько Д.А.* Сравнение методов детерминистической акустической инверсии для выделения акустически контрастных объектов по сейсмическим данным // *Геофизика.* – 2016. – №. 1. – С. 2-11.

Научное издание

Научная конференция молодых ученых и аспирантов  
ИФЗ РАН, 8-9 ноября 2023 г.

Тезисы докладов и программа Конференции

Ответственный редактор:  
д.г.-м.н. Р.В. Веселовский

Редакторы: к.г.-м.н. А.М. Фетисова, С.А. Фурсова

Оригинал-макет подготовлен в ИФЗ РАН  
123242 Москва, ул. Б. Грузинская, д.10 стр.1

Москва, 2023